

**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
PREHRAMBENO-TEHNOLOŠKI FAKULTET OSIJEK**

Hana Marek

**REOLOŠKA SVOJSTVA TIJESTA OD BRAŠNA
SORTI OZIME PŠENICE RODA 2017. GODINE**

DIPLOMSKI RAD

Osijek, srpanj 2018.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA
DIPLOMSKI RAD

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek
Zavod za prehrambene tehnologije
Katedra za tehnologije prerade žitarica
Franje Kuhača 20, 31000 Osijek, Hrvatska

Znanstveno područje: Biotehničke znanosti
Znanstveno polje: Prehrambena tehnologija
Nastavni predmet: Tehnologija proizvodnje i prerade brašna
Tema rada: je prihvaćena na VIII. redovitoj sjednici Fakultetskog vijeća Prehrambeno-tehnološkog fakulteta Osijek u akademskoj godini 2017./2018. održanoj 28. svibnja 2018.
Mentor: izv. prof. dr. sc. *Marko Jukić*
Pomoć pri izradi: Ana Šušak, dipl. ing., stručni suradnik

REOLOŠKA SVOJSTVA TIJESTA OD BRAŠNA SORTI OZIME PŠENICE RODA 2017. GODINE

Hana Marek, 427-DI

Sažetak: Cilj ovoga rada bio je ispitati reološka svojstva tijesta od brašna sorti ozime pšenice roda 2017. godine. Ispitano je 27 sorti koje su uzgajane na dvije različite lokacije, osječkoj i zagrebačkoj. Sorte su uzgajane pod istim agrotehničkim i agroekološkim uvjetima. Ispitana su reološka svojstva na Brabenderovom farinografu, ekstenzografu, te aktivnost amilolitičkih enzima na Brabenderovom amilografu i pomoću broja padanja po Hagberg- Pertenu.

Rezultati su pokazali da su uzorci uzgojeni na osječkom području bolje kvalitete u odnosu na uzorke uzgojene na zagrebačkom području tijekom vegetacijske godine 2016./17., a to je naročito vidljivo iz farinografskih pokazatelja kvalitete. Budući da su tijekom uzgoja pšenice provedene identične agrotehničke mjere na obje lokacije, može se zaključiti da su glavni uzrok razlika u kvaliteti pšenice s osječkog i zagrebačkog područja različiti klimatski uvjeti.

Ključne riječi: reološka svojstva, tijesto, farinograf, ekstenzograf, amilolitička aktivnost

Rad sadrži: 48 stranica
39 slika
1 tablica
30 literaturnih referenci

Jezik izvornika: Hrvatski

Sastav Povjerenstva za ocjenu i obranu diplomskog rada i diplomskog ispita:

1.	prof. dr. sc. Daliborka Koceva Komlenić	predsjednik
2.	izv. prof. dr. sc. Marko Jukić	član-mentor
3.	doc. dr. sc. Ivana Rukavina	član-komentor
4.	doc. dr. sc. Jasmina Lukinac Čačić	zamjena člana

Datum obrane: 20. srpnja 2018.

Rad je u tiskanom i elektroničkom (pdf format) obliku pohranjen u Knjižnici Prehrambeno-tehnološkog fakulteta Osijek, Franje Kuhača 20, Osijek.

BASIC DOCUMENTATION CARD

GRADUATE THESIS

University Josip Juraj Strossmayer in Osijek
Faculty of Food Technology Osijek
Department of Food Technology
Subdepartment of grain processing technologies
Franje Kuhača 20, HR-31000 Osijek, Croatia

Scientific area: Biotechnical sciences
Scientific field: Food technology
Course title: Technology of flour production and processing
Thesis subject: was approved by the Faculty of Food Technology Osijek Council at its session no. VIII held on May 28, 2018.
Mentor: Marko Jukić, PhD, associate prof.
Technical assistance: Ana Šušak, dipl. ing., expert associate

DOUGH RHEOLOGICAL PROPERTIES OF WINTER WHEAT VARIETIES FLOURS FROM THE 2017 HARVEST

Hana Marek, 427-DI

Summary: The aim of this study was to determine the rheological properties of different winter wheat varieties obtained from 2017 harvest. Twenty-seven varieties of winter wheat that were used were grown on two locations, Osijek and Zagreb. Rheological properties were determined by Brabender farinograph and extensograph, and the amylolytic activity was examined by using Brabender amylograph and by measuring Falling Number (Hagberg-Perten).

The results showed that the samples in the Osijek region were of better quality compared to the samples grown on the Zagreb area during the vegetation year 2016/17, and this is particularly apparent from the farinographic quality indicators. Since wheat was grown with identical agrotechnical measures in both locations, it can be concluded that the main cause of differences in the quality of wheat from Osijek and Zagreb region is different climatic conditions.

Key words: rheological properties, dough, farinograph, extensograph, amylolytical activity

Thesis contains: 48 pages
39 figures
1 table
30 references

Original in: Croatian

Defence committee:

- | | | |
|----|---|------------------------|
| 1. | Daliborka Koceva Komlenić, PhD, full prof. | chair person |
| 2. | Marko Jukić, PhD, associate prof. | supervisor |
| 3. | Ivana Rukavina, PhD, assistant prof. | member – co-supervisor |
| 4. | Jasmina Lukinac Čačić, PhD, assistant prof. | stand-in |

Defence date: July 20, 2018

Printed and electronic (pdf format) version of thesis is deposited in Library of the Faculty of Food Technology Osijek, Franje Kuhača 20, Osijek.

Zahvaljujem svome mentoru izv. prof. dr. sc. Marku Jukiću, prof. dr. sc. Daliborki Kocevi Komlenić i dipl. ing. Ani Šušak na trudu, strpljenju, podršci i pomoći prilikom izrade ovog diplomskog rada.

Zahvaljujem cijeloj svojoj obitelji, rodbini i prijateljima što su bili uz mene kroz cijelo studiranje i učinili ga ljepšim i lakšim.

Posebno veliko hvala mojoj braći na ljubavi, smijehu i potpori te mojim roditeljima koji su mi omogućili da studiram i bili mi najveća podrška u svemu i bez čije ljubavi i žrtve ovo ne bi bilo moguće. Ovaj rad posvećujem vama! Hvala za sve!

Sadržaj

1. UVOD	1
2. TEORIJSKI DIO	3
2.1. PŠENICA	4
2.1.1. <i>Građa pšeničnog zrna</i>	<i>4</i>
2.1.2. <i>Kemijski sastav zrna i brašna</i>	<i>5</i>
2.2. REOLOGIJA	10
2.2.1. <i>Reologija tijesta</i>	<i>11</i>
2.2.2. <i>Metode za određivanje reoloških svojstava tijesta</i>	<i>11</i>
3. EKSPERIMENTALNI DIO	20
3.1. ZADATAK	21
3.2. MATERIJALI	21
3.3. METODE	21
3.3.1. <i>Određivanje kvalitetnih grupa i jakosti brašna pomoću farinografa</i>	<i>21</i>
3.3.2. <i>Određivanje otpora tijesta na rastezanje ekstenzografom</i>	<i>23</i>
3.3.3. <i>Određivanje aktivnosti α-amilaze na amilografu</i>	<i>24</i>
3.3.4. <i>Određivanje broja padanje po Hagberg- Pertenu</i>	<i>25</i>
3.3.5. <i>Statistička obrada rezultata</i>	<i>26</i>
4. REZULTATI	27
4.1. REZULTATI FARINOGRAFSKIH ISPITIVANJA	28
4.2. REZULTATI EKSTENZOGRAFSKOG ISPITIVANJA	30
4.3. REZULTATI AMIOLOGRAFSKOG ISPITIVANJA I BROJA PADANJA	33
5. RASPRAVA	34
5.1. FARINOGRAFSKA ISPITIVANJA	35
5.2. EKSTENZOGRAFSKA ISPITIVANJA	38
5.3. AMIOLOGRAFSKA ISPITIVANJA I BROJ PADANJA	41
6. ZAKLJUČCI	43
6. LITERATURA	45

1. UVOD

Pšenica je danas, uz kukuruz, rižu i krumpir, jedna od najvažnijih ratarskih kultura u svijetu, a uzgaja se na više od 240 milijuna hektara. Predstavlja jednu do prvih kultura koje je čovjek kultivirao u svrhu proizvodnje hrane. Zato je značaj pšenice velik i u razvoju kulture čovječanstva, obzirom da se u prehrani čovjeka koristi tisućama godina.

Pšenica se svrstava u porodicu trava, lako se razmnožava i uzgaja na različitim klimatskim područjima te različitim vrstama tla. Mogućnosti uzgoja pšenice danas su se još više proširile zahvaljujući novim tehnologijama razvoja novih sorti otpornijih na bolesti, smrzavanje i sušu. Zbog svojih hranjivih vrijednosti i sposobnosti stvaranja tijesta specifičnih viskoelastičnih svojstava, kao najznačajniji proizvod od pšeničnog brašna proizvodi se kruh, a čija se visoka kvaliteta ne može postići upotrebom brašna ostalih žitarica. Iako se pšenica koristi najviše u prehrani čovjeka, poželjna je i u proizvodnji hrane za životinje (FAO, 2002.).

Kemijski sastav pšeničnog zrna ovisi mnogobrojnim faktorima počevši sa sortnim svojstvima, klimatskom području na kojem se biljka uzgaja, vrsti tla i o vremenskim uvjetima kroz godinu uzgoja. Obzirom na namjenu, za kvalitetu pšenice vrlo su značajni vrsta i količina proteina u zrnu, te udio mineralnih tvari. Za potrebe pekarske industrije, odnosno proizvodnju kruha i peciva vrlo je bitan udio proteina koji sačinjavaju gluten, a to su glijadin i glutenin. Ovi proteini kod zamjesa pšeničnog brašna s vodom čine gluten ili lijepak koji pečenjem tvori čvrstu proteinsku mrežu odgovornu za elastičnu strukturu i teksturu kruha te peciva. Isto tako, kod proizvodnje finih pekarskih proizvoda, poput keksa, čajnog peciva i vafla, bitan je niži udio proteina jer će se na taj način uz dodatak masnoća i sredstava narastanja dobiti specifična struktura finalnog proizvoda bez žilavosti proizvoda. Stoga se danas za potrebe različitih namjena i industrija pšenično brašno podvrgava reološkim ispitivanjima kako bi se utvrdila kvaliteta brašna i omogućilo klasiranje pšenice za pojedine svrhe. Reologija omogućuje ispitivanje tijesta i brašna kroz duljinu zamjesa, ponašanje tijesta tijekom zamjesa s vodom i različitim dodacima, zatim rastezljivost tijesta i provjeru čvrstoće glutena u formiranom tijestu te kvalitetu škorba u brašnu i aktivnost enzima koji se nalaze u brašnu, a imaju značajan utjecaj na pecivna svojstva brašna (Pomeranz, 1988.).

U ovome radu će se prikazati rezultati reoloških ispitivanja tijesta od brašna dvadeset sedam različitih sorti pšenice uzgojenih na zagrebačkom i osječkom području. Ispitivanja su provedena na Brabenderovim uređajima farinografu, ekstenzografu i amilografu te uređaju za određivanje broja padanja po Hagberg- Pertenu.

2. TEORIJSKI DIO

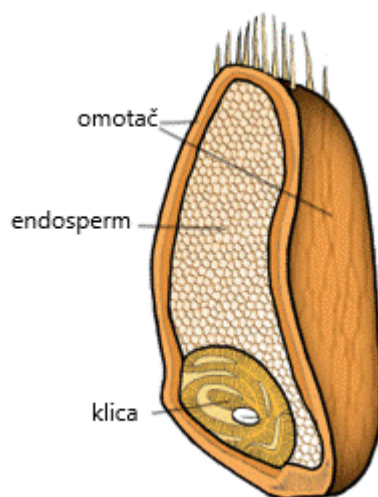
2.1. PŠENICA

Pšenica (*Triticum species*) je jednogodišnja zeljasta biljka koja spada u porodicu trava (*Poaceae*). Vrlo je značajna za ljudski rod jer se od davnina koristi za prehranu čovjeka, kao i domaćih životinja. Prvi zapisi upotrebe pšenice za ljudsku prehranu datiraju čak iz 10 000 8 000 godina prije Krista (Halverson i Zeleny, 1988.). Zbog vrlo velikog prinosa i hranjivosti ova biljka uzgaja se diljem svijeta, posebice zahvaljujući današnjem razvoju biotehnologije i genetičkog inženjerstva čime se omogućilo stvaranje novih, otpornijih sorti pšenice (Šramková i sur., 2009.). Postoji tridesetak vrsta ove biljke od kojih se najčešće uzgajaju samo tri najpoznatije vrste, a to su *Triticum aestivum* koja se najčešće uzgaja kao krušarica, odnosno za proizvodnju kruha, *Triticum durum*, koja se koristi za proizvodnju krupice za izradu tjestenine, te *Triticum compactum* koja se zbog malog sadržaja proteina koristi u proizvodnji finih pekarskih proizvoda, kao što su keks i čajno pecivo (Halverson i Zeleny, 1988., Kent-Jones i Singh, 2010.). Postoje različite sorte pšenice s obzirom na uvjete uzgoja, to su ozime, jare i fakultativne sorte pšenice. Blage zime i topla ljeta pogoduju rastu i uzgoju ozime pšenice, a surovije zime i suha područja pogodna su za uzgoj jarih sorti pšenice. U Hrvatskoj se pšenica uzgaja na oko 180 000 hektara s prinosom od oko 4 t/h (Rapčan, 2014.).

2.1.1. Građa pšeničnog zrna

Plod biljke pšenice jest zrno (**Slika 1**). Zrno pšenice najčešće je ovalnog oblika, ali može biti i okruglastog, izduljenog ili plosnatog oblika. Na trbušnoj strani zrna nalazi se brazda. Uzdužno, na donjoj strani zrna nalazi se klica, a na gornjoj strani bradica koja se uklanja prilikom pripreme zrna za mljevenje. Sjemenku sačinjava omotač (ovojnica) koji se sastoji od nekoliko slojeva, ispod omotača je aleuronski sloj, a zatim je endosperm i klica (Hosenay, 1994., Evers i Bechtel, 1988., Kent-Jones i Singh, 2010.). U omotaču zrna nalaze se pigmenti koji mogu varirati od crvene, smeđe do sivih nijansi te se u njemu pored pigmenata nalaze vitamini i mineralne tvari. Između omotača i endosperma nalazi se aleuronski sloj stanica koji se uklanja prilikom mljevenje pšenice u brašno i izdvaja se u obliku posija (NZFMA, 2010.). Taj je sloj stanica bogat proteinima i enzimima. Endosperm čini najveći dio zrna pšenice i nakon izdvajanja posija melje se u brašno. Sastoji se od škrobnih granula obavijenih mrežom proteina koji mogu biti ili uklopljeni između škrobnih čestica ili se nalaze na površini škrobnih granula. Klica se sastoji od embrijske osi i

skuteluma. Embrijska os preuzima ulogu formiranja nove biljke, a skutelum sadrži rezervnu hranu za mladu biljku i štiti klicu (Šramková i sur., 2009., Žeželj, 1995., Hosenay, 1994., Evers i Bechtel, 1988.).



Slika 1 Zrno pšenice i njegovi dijelovi (Izvor slike: Web 1)

2.1.2. Kemijski sastav zrna i brašna

Pšenično zrno sastoji se od omotača, endosperma i klice. Za proizvodnju brašna koristi se endosperm zrna, dok se klica i omotač izdvajaju u posebnoj frakciji. Omotač pšeničnog zrna sadrži nutritivno najvrijednije sastojke, vitamine, obojene tvari, mineralne tvari i prehrambena vlakna, ali se izdvaja tokom mljevenja u obliku posija. U sastavu omotača prevladavaju složeni ugljikohidrati poput celuloze i hemiceluloze s udjelima od 20 do 26 %. Udio mineralnih tvari također je značajno veći u omotaču zrna nego u endospermu i iznosi oko 6 %. Klica sadrži najviše lipida čija je uloga hranjenje nove mlade biljke prilikom klijanja. Vlaženjem zrna određeno vrijeme prije mljevenja postiže se bolja plastičnost klice i olakšava izdvajanje klice od ostalih dijelova. To je izuzetno važno zbog mogućnosti kvarenja brašna zbog zaostalih dijelova klice bogate lipidima. Klica je osim lipidima bogata i jednostavnim ugljikohidratima (10 %) i proteinima (29 %). Ovi sastojci također omogućuju razvoju nove biljke i troše se prilikom klijanja. Endosperm se melje do brašna, a kvantitativno najznačajniji kemijski sastojak endosperma je škrob (oko 70 %). Pored škroba, endosperm sadrži i proteine, mineralne tvari te lipide, ali u manjim udjelima (Žeželj, 1995., Hosenay, 1994., Pomeranz, 1988.).

2.1.2.1. Pšenično brašno

Pšenično brašno je najvažnija sirovina u pekarskoj industriji zbog specifičnih svojstava tog brašna i to je osnovna sirovina koja se koristi u pripremi pekarskih i sličnih proizvoda. O svojstvima pšeničnog brašna ovisi i kvaliteta cijelog niza pekarskih proizvoda te je zbog toga važno dobro postaviti i proces mljevenja. Na taj način omogućuje se upotreba brašna različitih svojstava za točno određenu namjenu pa se tako, primjerice, za potrebe proizvodnje finih pekarskih proizvoda (poput keksa, čajnog peciva i vafla) koriste brašna manje granulacije ili puder brašna, a za potrebe proizvodnje kruha i peciva brašna s krupnije granulacije. Granulacija utječe na apsorpcijsku moć brašna i rasplinjavanje odnosno zadržavanje plinova pri nastanku strukture tijesta te tijekom pečenja. Ako brašno sadrži čestice manjeg promjera, veća je aktivna površina, škrobne granule su oštećenije te prilikom reakcije s vodom dolazi do većeg upijanja vode odnosno takvo brašno ima veću apsorpcijsku moć. Suprotno brašnima s česticama manje granulacije, brašno krupnije granulacije slabije upija vodu zbog manje oštećenih granula škroba. Brašna prema granulaciji mogu biti krupičasta brašna ili krupice, oštra brašna, meka brašna i puder brašna. Krupičasta brašna ili krupice koriste se najčešće za proizvodnju tjestenine (granulacija: 200-300 μm). Oštra brašna (180-210 μm) se također koriste u proizvodnji nekih tjestenina i drugih posebnih proizvoda, rjeđe za proizvodnju kruha jer nemaju dobra apsorpcijska svojstva. Meka brašna (veličine čestica do 180 μm) koriste se u pekarskoj industriji za proizvodnju cijelog niza pekarskih proizvoda. Puder brašna (čestice manje od 80 μm), koriste se u proizvodnji finih pekarskih proizvoda, poput keksa i čajnog peciva. (Žeželj, 2005.).

2.1.2.2. Proteini brašna

Udio proteina u pšenici, kao i zastupljenost pojedinih proteina, vrlo je važna kako sa nutritivnog, tako i sa tehnološkog stajališta. Količina proteina u pšenici je parametar pomoću kojeg se određuje klase pšenice, što znači da se na taj način određena sorta pšenice može uzgajati za točno određenu namjenu, primjerice, uzgoj pšenice sa većim udjelom proteina i staklaste strukture zrna može se koristiti u proizvodnji tjestenine, a pšenica s manjim udjelom proteina može se koristiti u proizvodnji finih pekarskih proizvoda (Khan i Shewry, 2009.). U pojedinim dijelovima zrna pšenice proteini su različito zastupljeni. Tako u omotaču i aleuronskom sloju ima oko 15 % proteina. Proteini aleuronskog sloja nutritivno su najvrjedniji proteini zrna pšenice. U

endospermu se, ovisno o sorti i vremenskim uvjetima tijekom zriobe zrna, može nalaziti od 5 do 16 % proteina. U središnjem dijelu endosperma nalazi se najmanje proteina, ali su oni tehnološki najkvalitetniji. U vanjskim dijelovima endosperma udio proteina je veći, ali su ti proteini nešto slabije tehnološke kvalitete. S obzirom da se za potrebe proizvodnje brašna melje i izdvaja endosperm zrna, može se reći da većina proteina u brašnu potječe upravo od tog dijela zrna, uz manje količine koji potječu iz zaostalih usitnjenijih dijelova zrna. Proteini u brašnu i zrnu su albumini, globulini, glijadini (prolamini) i glutelini (glutenini) (Žeželj, 2005., Pomeranz, 1988.). Albumini predstavljaju proteine najmanje molekulske mase, nakon njih slijede globulini. Ove dvije vrste proteina nalaze se većinom u omotaču zrna i aleuronskom sloju, a mogu dospjeti u brašno procesom mljevenja. Glijadini i glutelini su proteini koji se nalaze u endospermu zrna i mljevenjem prelaze u brašno. To su proteini velike molekulske mase i imaju veliki tehnološki značaj jer s vodom omogućuju stvaranje glutena te zadržavaju plinove tijekom pečenja tijesta dobivenog od brašna pšenice (Šramková i sur. 2009.).

Gluten

Proteini pšeničnog brašna, glutelini (glutenini) i glijadini, kada se hidriraju tvore gluten (**Slika 4**). Glutenin (**Slika 2**) je protein velike molekulske mase koji glutenu daje čvrstoću, a procjenjuje se da njegova molekularna masa iznosi od 100 000 do nekoliko milijuna. Glutenin je sastavljen od velikog broja razgranatih molekula povezanih disulfidnim vezama. Glutenin je vrlo čvrst i elastičan te se nakon rastezanja vraća u prvobitni položaj. Molekularna masa glijadina iznosi od 30 000 do 125 000. Glijadin se uglavnom sastoji od jednostavnih lanaca s malo disulfidnih veza i sudjeluje u formiranju glutena s 55- 70 %. Glijadin (**Slika 3**) je značajno mekši i rastezljiviji u odnosu na glutenin, a kada se hidrira postaje prilično viskozan i ljepljiv. Do formiranja glutena u tijestu dolazi prilikom reakcije glijadina i glutenina s molekulama vode čime se oni povezuju u kompaktnu masu koja ima viskoelastična svojstva (Atwell, 2001.). Zahvaljujući netopljivosti glijadina i glutenina u vodi, moguće je ispiranjem gluten izdvojiti iz tijesta. Naime, albumini su topljivi u vodi, a globulini u vodenoj otopini kuhinjske soli. Na taj se način, ispiranjem tijesta slanom vodom (2 %- tna otopina natrijevog klorida), može izdvojiti čisti gluten. Škrob, koji je također netopljiv u hladnoj vodi, ispire se zajedno s ostalim tvarima iz tijesta, te zaostaje čisti vlažni gluten. Ovo svojstvo omogućuje određivanje jakosti brašna. Na taj način ispituje se kvaliteta i količina glutena u

brašnu, te kvaliteta brašna, odnosno mogućnost zadržavanja plinova prilikom fermentacije tijesta (Žeželj, 2005.).



Slika 2 Glutenin (Atwell, 2001.)



Slika 3 Glijadin (Atwell, 2001.)



Slika 4 Gluten (Atwell, 2001.)

2.1.2.3. Škrob

Škrob je najzastupljeniji polisaharid u zrnu pšenice i brašnu. Biljka ga nakuplja kao rezervu hrane za klicu. Udio škroba kod pšeničnog zrna je u rasponu od 60 do 75 % (Šramková i sur., 2009.). Količina škroba, kao i količina proteina, varira obzirom na sortu, klimatsko područje i vremenske uvjete uzgoja biljke. Pšenice s većim udjelom proteina (tvrde) najčešće imaju manji udio škroba, dok je kod mekih pšenica siromašnijih proteinima situacija obrnuta (Pomeranz, 1988.). Škrob je homopolisaharide jer se sastoji samo od jedne gradivne jedinice, a to je molekula monosaharida glukoze. Molekularna masa škroba iznosi od 30 000 do 14 milijuna. U pšeničnom zrnu škrob se nakuplja u obliku škrobnih granula. Postoje dvije vrste škrobnih granula, a to su male okruglaste (sferične) granule, čija veličina ne prelazi 10 μm , i velike škrobne granule oblika leće koja mogu biti veća od 25 μm (Evers, A. D., Bechtel, 1988., Žeželj, 2005.). Granule su sastavljene od dva tipa polimera glukoze: amiloze i amilopektina. Amiloza je jednostavan polimer lančastog oblika koji ima jedinice glukoze povezane α - 1,4- glikozidnim vezama. Molekularna masa amiloze iznosi oko 1 500 do 6 000, a sačinjava oko 25 % škrobne granule. Amilopektin je razgranati polimer glukoze povezan također α - 1,4- glikozidnim vezama, osim na točkama grananja gdje su molekule glukoze povezane α - 1,6- glikozidnim vezama. Molekularna masa amilopektina može varirati od 300 000 do 3 milijuna. Granule škroba čvrsto su zbijene zahvaljujući vodikovim vezama kojima su povezani amiloza i amilopektin i koji čine amorfna (amiloza) i kristalična (amilopektin) područja u granuli škroba. Takav raspored ovih polimera sačinjava koncentrične krugove u škrobnoj granuli i daje im čvrstoću (Atwell, 2001.). Procesom mljevenja pšenice dolazi do oštećenja škrobnih granula u određenoj mjeri. Ovisno o namjeni brašna, endosperm se može samljeti finije te će na taj način doći do većeg oštećenja škrobnih granula. O oštećenosti škrobnih granula, odnosno, o udjelu oštećenih granula škroba ovisi i kvaliteta brašna. Finijim mljevenjem sadržaj granula će postati dostupniji enzimima i lakše će se prevoditi do glukoze koja je potrebna prilikom izrade tijesta za kruh i procesa fermentacije (Žeželj, 2005.). Izuzetno značajno svojstvo škroba je svojstvo želatinizacije. Želatinizacija je proces koji se događa kada su škrobne granule u vodi izložene visokoj temperaturi (52- 85 °C). Tada dolazi do upijanja vode u granulu, bubrenja i pucanja granule te stvaranja škrobnog gela. Taj proces je vrlo bitan kod proizvodnje pekarskih proizvoda jer doprinosi stvaranju specifične teksture kruha. Želatinizaciji suprotan proces je retrogradacija škroba gdje se čestice dezintegriranih škrobnih granula pokušavaju povezati u prvobitni položaju

uz izdvajanje vode. Proces retrogradacije je karakterističan za starenje pekarskih proizvoda (Atwell, 2001.).

2.1.2.4. Mineralne tvari

Mineralne tvari u pšeničnom brašnu ukazuju na prisutnost različitih dijelova pšeničnog zrna zaostalih prilikom mljevenja. Tako je kod bijelih brašna udio mineralnih tvari manji nego u integralnim i crnim brašnima, obzirom da se najveći udio minerala, oko 61 % ukupnih minerala u zrnu, nalazi u aleuronskom sloju te u ovojnici (Hoseney, 1986.). Kod analize brašna udio mineralnih tvari izražava se kao pepeo, odnosno ostatak nakon spaljivanja brašna pri vrlo visokim temperaturama (900 °C) u mufolnoj peći do konstantne mase (Atwell, 2001., Žeželj, 2005.). Udio mineralnih tvari u zrnu pšenice iznosi od 1,25 do 2,00 %, a određuje se analitičkim metodama iz ostatka (pepela) nakon spaljivanja brašna iz cijelog zrna (Khan i Shewry, 2009.). Najznačajniji minerali u brašnu pšenice, a i kvantitativno najzastupljeniji, su fosfor, kalcij, magnezij, i kalij (Žeželj, 2005.).

2.2. REOLOGIJA

Reologija predstavlja granu fizike koja proučava deformacije i tečenje materijala kada je materijal izložen djelovanju neke sile ili naprezanju. Reološka svojstva materijala koja se opisuju kao osnovna reološka svojstva su elastičnost, plastičnost i viskoznost. Elastično ponašanje nekog materijala očituje se ako se nakon prestanka djelovanja sile materijal vrati u prvobitni položaj. Plastično ponašanje podrazumijeva trajnu deformaciju na materijalu na koji je djelovala sila. Viskoznost opisuje trenje u tekućim materijalima i trenje koje se stvara između slojeva koji se gibaju unutar materijala. Tako se, prema načinu ponašanja uslijed djelovanja sile, materijali mogu podijeliti na Newtonovske tekućine ili ne-Newtonovske tekućine (Lovrić, 1991.). U stvarnosti su najčešći sustavi materijala koji imaju vrlo složena svojstva zbog različitih tvari od kojih se sastoje, kao što je to slučaj s mnogim proizvodima u prehrambenoj industriji te oni pripadaju ne-Newtonovskim tekućinama (sustavima) (Dapčević Hadnađev i sur., 2011., Hoseney, 1986.).

2.2.1. Reologija tijesta

Pšenično brašno je specifičnog biokemijskog sastava s različitim veličinama čestica što predstavlja izazov prilikom proučavanja svojstava i kvalitete brašna i tijesta. U pekarskoj industriji vrlo važno odrediti svojstva brašna, odnosno kako će se ono ponašati prilikom zamjesa, fermentacije i pečenja kako bi se na kraju procesa dobio kvalitetan pekarski proizvod željenih karakteristika (Menjivar, 1990.). Na taj način proizvođač može optimizirati proizvodne kontrolne parametre i kvalitetu proizvoda (Oliver i Allen, 1991.). Određivanje reoloških svojstava tijesta od brašna pšenice olakšalo je i ocjenjivanje učinkovitosti različitih aditiva, konzervansa, enzimskih preparata i ostalih dodataka, pa i upotrebu drugih brašna u proizvodnji pekarskih i srodnih proizvoda, a posebno određivanje kvalitete tijesta i njegovu funkcionalnost. To omogućuje empirijsko mehaničko testiranje brašna i tijesta, odnosno fizikalni testovi na određenim uređajima odmah daju rezultate i prikazuju najvažnije parametre za određivanje kvalitete brašna i tijesta (Menjivar, 1990.).

Tijesto od pšeničnog brašna ima viskoelastična svojstva što znači da objedinjuje svojstva Newtonovskog fluida (viskoznost) gdje se energija koju je potrebno uložiti ne bi li tijelo počelo teći rasipa u obliku topline, dok je za elastična svojstva, koja odgovaraju Hookeovom zakonu (osobina Hookeove krutine), energija koja je potrebna da se na tijelu dogodi deformacija sadržana kao potencijalna energija i nakon prestanka djelovanja sile tijelo se vraća u prvobitni položaj. Tako tijesto ima oba ova svojstva i može zadržati toplinu što je karakteristika viskoznog tijela i skladištiti energiju što je karakteristika elastičnog tijela, a to je vrlo bitno prilikom zadržavanja plinova kod pečenja kruha i drugih pekarskih proizvoda i razvoja strukture proizvoda (Menjivar, 1990.). Upravo je gluten sa zncima škroba uklopljenima u svoju mrežu odgovoran za viskoelastična svojstva tijesta (Dapčević Hadnađev i sur., 2011.).

2.2.2. Metode za određivanje reoloških svojstava tijesta

Postoji niz empirijskih metoda kojima se određuje kvaliteta brašna i tijesta. Zahtjevi za kvalitetu koji se danas postavljaju u pekarskoj industriji obuhvaćaju pekarski proizvod visoke kvalitete, ujednačene strukture i teksture, karakteristične boje i oblika te dobrih senzorskih svojstava, veliko iskorištenje prilikom proizvodnje (randman) te da je tijesto, kao poluproizvod, zadovoljavajućih reoloških svojstava i pogodno za obradu tijekom cijele proizvodnje. Pokazatelji

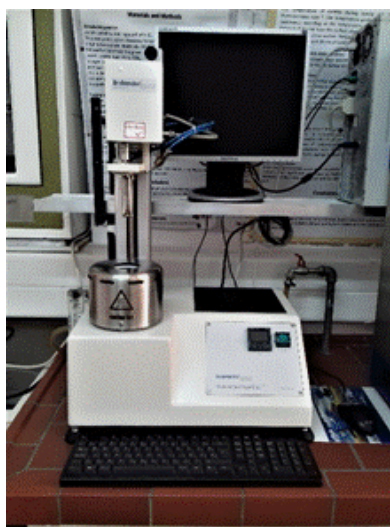
poput jakosti brašna te sposobnosti razvoja plinova vrlo su važni za određivanje kvalitete brašna koje potom uvjetuje i dobivanje kvalitetnog tijesta kao i finalnih proizvoda.

Jakost brašna uvjetovana je količinom i kvalitetom proteina glutena koji se nalaze u brašnu, odnosno proteinskim kompleksom brašna. Važnost glutena povezana je sa sposobnosti zadržavanja plinova tijekom fermentacije. To omogućuje nastanak ujednačene rupičaste strukture sredine kruha, velike volumene i povoljne teksture gotovog proizvoda.

Sposobnost stvaranja plinova ovisi o dostupnosti šećera kvascu prilikom fermentacije. Iako u brašnu nema puno slobodnih fermentabilnih šećera, oni se stvaraju djelovanjem amilolitičkih enzima prilikom fermentacije, a hoće li amilolitički enzimi moći razgraditi škrob do glukoze ovisi i o tome kakva je granulacija brašna. Što je brašno sitnije granulacije, više je oštećenih granula škroba te su one dostupnije amilolitičkim enzimima, a time i kvascu koji će ih razgraditi do ugljikovog dioksida tijekom fermentacije. Nastali plinovi ostaju zarobljeni u mjehurićima tijesta koji su načinjeni od mreže glutena u koju su uklopljena zrnca škroba. Ova se svojstva brašna mogu određivati različitim uređajima za određivanje reoloških svojstava brašna (Žeželj, 2005.).

2.2.2.1. Mikro visko-amilograf

Mikro visko- amilograf (**Slika 5**) je uređaj kojim se mjeri viskoznost suspenzije brašna u vodi. Ovaj uređaj ima rotirajuću posudu u koju se stavlja suspenzija brašna i vode te se uz miješanje i rotiranje zagrijava.



Slika 5 Mikro visko- amilograf

U uređaju dolazi do procesa zagrijavanja suspenzije dok ne nastane želatinizirani gel nakon čega slijedi hlađenje. Tijekom cijelog postupka temperatura postepeno raste, a zatim pada. Podaci se bilježe na računalu u obliku grafa, amilograma, a bilježi se promjena viskoznosti s vremenom i promjenom temperature. Uređaj daje i podatke o aktivnosti amilolitičkih enzima, što znači da će suspenzija manje želatinizirati ako su amilolitički enzimi bili aktivni, odnosno razgradili škrob do šećera (Web 2, Grgić, 2015.).

2.2.2.2. Određivanje amilolitičke aktivnosti po Hagberg- Pertenu

Amilolitička aktivnost pšeničnog brašna, značajna je za utvrđivanje kvalitete brašna i tijesta prilikom fermentacije te za nastanak i zadržavanje plinova u tijestu. Broj padanja po Hagberg-Pertenu (**Slika 6**) je metoda kojom se indirektno ispituje enzimska aktivnost, odnosno aktivnost alfa-amilaze. Metoda se bazira na brznoj želatinizaciji škroba u suspenziji brašna i vode te se mjeri viskoznost škrobnog gela, odnosno mjerenja likvefakcije škroba do koje dolazi djelovanjem alfa-amilaze. Vrijednost enzimске aktivnosti mjeri se u broju sekundi koji je potreban da mješač propadne kroz škrobni gel.



Slika 6 Broj padanja po Hagberg- Pertenu (Izvor slike: Web 3)

Pšenična brašna s brojem padanja između 200 i 300 sekundi imaju prihvatljiv udio amilolitičkih enzima i dobru enzimsku aktivnost za nastanak kvalitetnog tijesta. Također se, ako brašno ima premali udio enzima, oni mogu dodati da bi brašno bilo prihvatljivo za upotrebu za pekarsku industriju. No, ako brašno ima broj padanja ispod 150 sekundi, tada to može predstavljati

problem jer je takvo brašno teško upotrebljivo u pekarskoj industriji jer neće dati tijesto pogodnih svojstava nego tzv. rasplinjavajuće tijesto. (ICC standard 107/1, 1995, Web 3)

2.2.2.3. Amilograf

Amilograf (**Slika 7**) je rotacijski viskozimetar kojim se određuje amilolitička aktivnost u brašnu mjerenjem otpora miješča koji su uronjeni u suspenziju brašna i vode. Suspenzija brašna i vode zagrijava se od početnoj temperature od 30 °C uz miješanje i konstantno podizanje temperature svake minute za 1,5 °C sve do krajnje temperature od 95 °C. Pritom se mjeri otpor miješčača tijekom nastajanja škrobnog gela. Veći otpor ukazuje na veću viskoznost, odnosno manju aktivnost enzima što upućuje da je brašno pogodno za izradu tijesta, kruh će imati optimalnu i kompaktnu sredinu, no ako je amilolitička aktivnost visoka, kruh od takvog brašna bit će ljepljive sredine i malog volumena (Web 2, ICC standard 126/1, 1992).



Slika 7 Amilograf (Izvor slike: Web 2)

2.2.2.4. Farinograf

Farinografom (**Slika 8**) se određuje jakost, odnosno snaga tijesta tako što se mjeri otpor tijesta na miješanje i gnječenje u mjesilici uređaja. Uređaj registrira promjenu fizikalnih svojstava tijesta tijekom određenog vremena miješanja i preko dinamometra se mjeri snaga koja je potrebna za kretanje dvije lopatice mjesilice kroz tijesto. Ovim se uređajem određuje i sposobnost upijanja vode ispitivanog brašna tako što se dodaje optimalna količina vode potrebna za zamjes

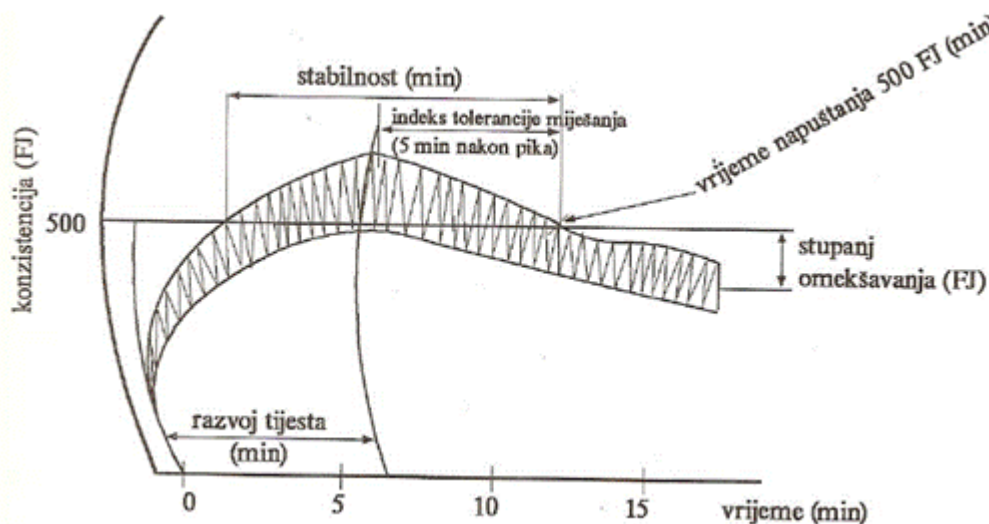
neljepljivog tijesta ujednačene konzistencije, a što odgovara maksimalnoj konzistenciji od 500 BU ili FJ (Brabenderovih jedinica ili farinografskih jedinica). Zamjes traje 15 minuta (Žeželj, 2005.). Rezultati dobiveni farinografom često se upotrebljavaju za procjenu količine vode koja je potrebna za nastanak tijesta, zatim za procjenu proizvodnje smjese različitih brašna te da bi se provjerila ujednačenost brašna. Također su ovi podaci korisni da bi se predvidjeli učinci tijekom procesa proizvodnje kao što su zahtjevi za miješalice u industriji, toleranciju kod prekomjernog mijesenja i konzistencija tijesta kod prerade (Web 2, ICC standard 115/1, 1992).



Slika 8 Farinograf

Farinogram (**Slika 9**) je grafički prikaz koji se dobiva tijekom zamjesa i na njemu je prikazan vremenski razvoj i ponašanje tijesta tijekom zamjesa. Podaci koji se dobiju farinografskim ispitivanjem uključuju sposobnost upijanja vode (moć upijanja vode), razvoj tijesta (vrijeme u minutama koje je potrebno da se razvije tijesto optimalne konzistencije), stabilnost tijesta u minutama tijekom kojih se konzistencija tijesta ne mijenja sve do trenutka opadanja krivulje, otpornost ili rezistencija tijesta na miješanje, stupanj omekšanja koji prikazuje razliku između crte optimalne konzistencije i sredine krivulje na kraju miješanja te elastičnost tijesta koju prikazuje širina krivulje (Đaković, 1980., Koceva Komlenić i Jukić, 2016.). Pomoću podataka iz farinograma mogu se odrediti kvalitetni broj i kvalitetne skupine brašna preko površine koja se dobije zatvaranjem trokuta linijom od 500 FJ i linije koja prolazi sredinom farinografske krivulje.

Vrijednost kvalitetnog broja kreće se u rasponu od 0 do 100, a kvalitetne grupe označuju se sa A1, A2, B1, B2, C1 i C2 (od grupe najbolje kvalitete prema najlošijoj) (Đaković, 1980.).



Slika 9 Farinogram (Izvor slike: Web 3)

2.2.2.5. Ekstenzograf

Ekstenzograf (**Slika 10**) je uređaj koji bilježi krivulju koja nastaje mjerenjem otpora tijesta na rastezanje, a također on mjeri i duljinu rastezanja do trenutka kidanja.



Slika 10 Ekstenzograf

Tijesto se rasteže pomoću kukice koja zahvaća tijesto postavljeno na metalni držač (**Slika 11**) u kojem je fermentiralo u komorama ekstenzografa (**Slika 12**). Kako se tijesto rasteže tako se bilježe podaci na ekstenzogramu sve do pucanja tijesta. Tijesto se nakon prvog rastezanja ponovno premjesi i stavlja na držač te ide u komoru na fermentaciju sljedećih 45 minuta. Taj se postupak može još jednom ponoviti, a vremenski raspon fermentacije tijesta može trajati i po 30 minuta. Otpor rastezanja tijesta prikazuje silu koja je potrebna ne bi li se tijesto istegnulo na određenu duljinu, a mjerilo otpora na ekstenzogramu označava točka nakon 50 milimetara razvlačenja (Žeželj, 2005., Đaković, 1980., Web 2, ICC standard 114/1, 1992).

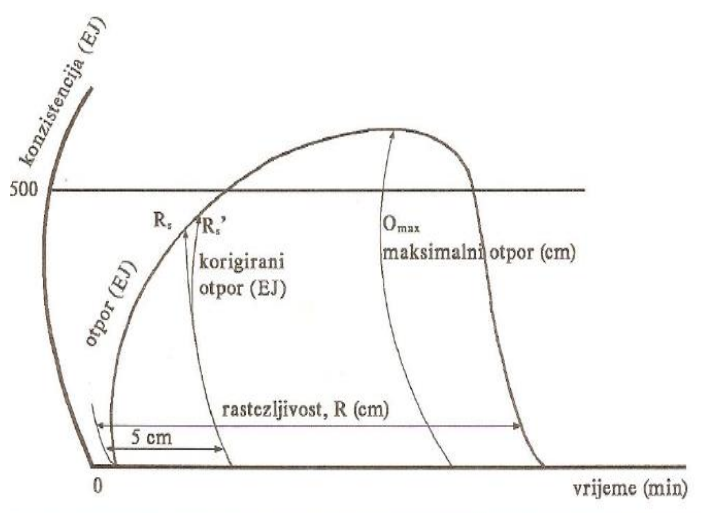


Slika 11 Rastezanje tijesta na ekstenzografu



Slika 12 Komore ekstenzografa i tijesto na držačima

Ekstenzogram (**Slika 13**) je grafički prikaz nastao prilikom ispitivanja rastezljivosti tijesta na ekstenzografu. On prikazuje rastezljivost, odnosno duljinu na koju se istegnulo tijesto od početka rastezanja do kidanja u milimetrima. Prikazuje i otpor na rastezanje, odnosno silu potrebnu da se tijesto istegne na određenu duljinu te prikazuje energiju rastezanja koja označava količinu energije potrebnu da bi se tijesto istegnulo na određenu duljinu, a energija rastezanja označava površinu ispod grafa. Iz ekstenzograma može se iščitati i jakost brašna odnosno omjer izmjerene otpora i rastezanja, koji je najpoželjniji u vrijednostima 1,5- 2,5. S obzirom da tijesto tri puta kroz 45 minuta ide na odmaranje (fermentaciju) u komore na 30 °C, dobiju se i tri grafička prikaza ispitivanog tijesta. Grafovi prikazuju na koji način se tijesto ponaša nakon odmaranja i mehaničke obrade (nakon svakog rastezanja tijesto se ponovno premjesti i oblikuje) (Đaković, 1980., Žeželj, 2005., Koceva Komlenić i Jukić, 2016.).



Slika 13 Ekstenzogram (Izvor slike: Web 3)

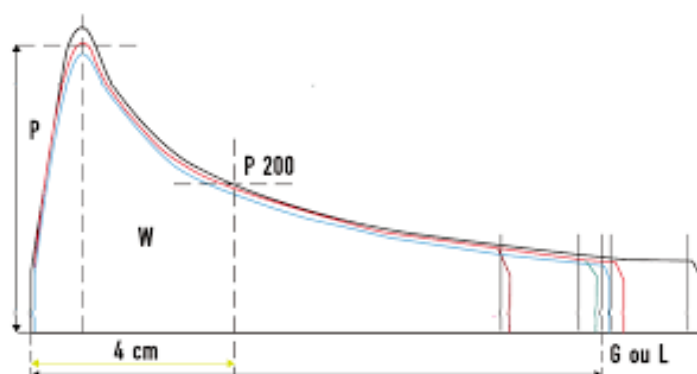
2.2.2.6. Alveograf

Alveograf (**Slika 14**) je uređaj kojim se mjeri otpor tijesta prilikom upuhivanja zraka ispod uzorka tijesta. Ovaj uređaj se može koristiti kao alternativa ekstenzografu, a njegovi podaci, osim što daju prikaz otpora tijesta na rastezanje, simuliraju i nastanak mjehurića prilikom pečenja tijesta (kruha) (Koceva Komlenić i Jukić, 2016.). Alveograf ima ugrađenu posudu za miješanje tijesta gdje se mijesi tijesto od brašna i vode s dodatkom soli nakon čega se tijesto dijeli na dijelove u obliku pogačica veličine 4,5 cm te se one nakon 20 minuta odmaranja analiziraju upuhivanjem zraka.

Prilikom analize mjeri se tlak unutar tjestenog mjehura i bilježi se promjena tlaka kroz vrijeme u obliku grafa.



Slika 14 Alveograf (Izvor slike: Web 4)



Slika 15 Alveogram (Izvor slike: Web 4)

Na grafičkom prikazu (**Slika 15**) alveografa može se očitati maksimalni napon (P) (maksimalna visina krivulje) koja je indikator otpora tijesta na rastezanje, indeks elastičnosti (P_{200}/P) koji se računa kao omjer visine krivulje nakon upuhivanja 200 ml zraka i maksimalnog napona, prosječna duljina grafa do puknuća tijesta (L) koja predstavlja rastezljivost tijesta i energiju deformacije (W) koja snagu brašna (rad koji je potrebno utrošiti za potpunu deformaciju tijesta). Svojstva glutena opisuje omjer maksimalnog napona i prosječne duljine krivulje do puknuća (P/L) (Koceva Komlenić i Jukić, 2016., Web 4)

3. EKSPERIMENTALNI DIO

3.1. ZADATAK

Zadatak ovog diplomskog rada bio je ispitati reološka svojstva tijesta od brašna sorti ozime pšenice roda 2017. godine uzgojene na osječkom i zagrebačkom području te na osnovi dobivenih rezultata svrstati brašna u kvalitativne grupe i utvrditi moguće postojanje razlike u ispitanim svojstvima s obzirom na lokaciju. Reološka svojstva određivana su na farinografu, ekstenzografu, amilografu te uređaju za mjerenje broja padanja po Hagberg- Pertenu.

3.2. MATERIJALI

U istraživanju su korištena 54 uzorka brašna od različitih sorti ozime pšenice roda 2017. godine zasijanih na dvije lokacije (osječko i zagrebačko područje). Za dobivanje uzoraka brašna ispitivanih pšenica korišten je laboratorijski mlin MLU-202 (Bühler, Njemačka), a za usitnjavanje pšenice namijenjene određivanju broja padanja po Hagberg- Pertenu korišten je mlin čekičar KT-3100 (Perten Instruments, Švedska).

3.3. METODE

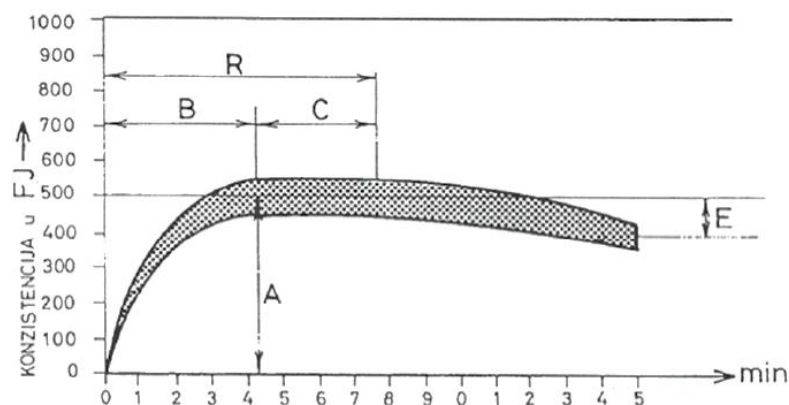
3.3.1. Određivanje kvalitetnih grupa i jakosti brašna pomoću farinografa

Za određivanje jakosti brašna, odnosno otpora tijesta na miješanje i gnječenje upotrijebljen je farinograf firme Brabender (Duisburg, Njemačka). Za analizu se pripremi 300 grama brašna i tijekom mijesjenja se doda onoliko vode koliko je potrebno za postizanje maksimalne konzistencije tijesta od 500 FJ. Pomoću pisača farinografa bilježi se promjena na pokretnoj papirnoj traci do koje dolazi prilikom miješanja i formiranja tijesta tijekom 15 minuta trajanja postupka.

Iz farinograma (**Slika 16**) se mogu očitati sljedeći podaci:

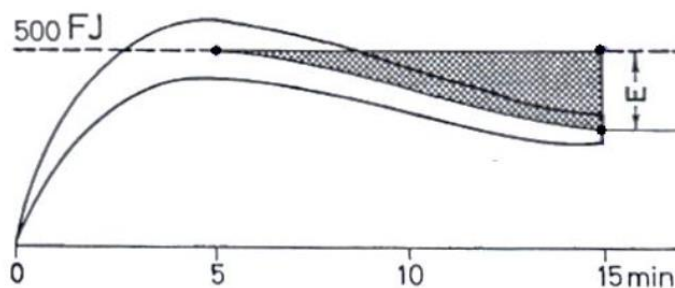
- A - sposobnost upijanja vode iskazana u postocima - količina vode potrebna brašnu da se postigne konzistencija od 500 FJ,
- B - vrijeme razvoja tijesta (min) - vrijeme od početka miješanja pa dok se ne postigne maksimum krivulje,
- C - stabilnost tijesta (min) - vrijeme od maksimuma krivulje do njezina padanja za 10 FJ,

- R - otpor tijesta (rezistencija) - tolerancija tijesta na miješanje (zbroj vremena razvoja i stabilnosti tijesta B + C),
- E- stupanj omekšanja - razlika između linije optimalne konzistencije i sredine krivulje na kraju miješanja.



Slika 16 Farinogram (Đaković, 1980.)

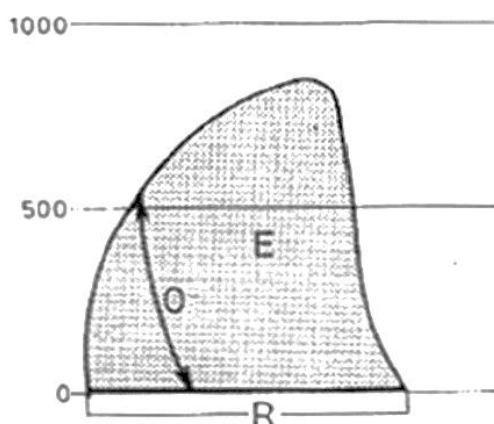
Kvalitetna grupa (Slika 17) brašna se na farinogramu određuje iz površine trokuta pomoću planimetra. Taj trokut sačinjavaju linija koja prolazi kroz sredinu krivulje (s početkom u maksimumu krivulje, a završetkom na kraju farinograma), linija konzistencije u rasponu od 490 do 510 FJ i linija koja spaja središnju liniju i liniju konzistencije. Izračunavanje kvalitetnog broja iz površine dobivenog trokuta vrši se pomoću tablice po Hankoczyju. Prema određenoj površini trokuta očita se kvalitetni broj ispitivanog brašna, a iz toga kvalitetna grupa. Kvalitetne grupe mogu biti: A1, A2, B1, B2, C1 i C2.



Slika 17 Određivanje kvalitetnog broja i kvalitetne grupe (Đaković, 1980.)

3.3.2. Određivanje otpora tijesta na rastezanje ekstenzografom

Za određivanje rastezljivosti tijesta upotrijebljen je ekstenzograf, uređaj firme Brabender (Brabender, Duisburg, Njemačka). Za analizu se upotrebljava tijesto zamiješeno na fatrinografu kod kojeg se umjesto destilirane vode dodaje 2 %- tna otopina soli (NaCl). Tijesto se podijeli u dva komada od po 150 grama, okruglo pa valjkasto oblikuje u za to predviđenom dijelu ekstenzografa te se stavlja na držače u komore za odmaranje u ekstenzografu. Nakon 45 minuta odmaranja tijesto se podvrgava rastezanju kukicom na postolju na koje se stavlja držač s tijestom. Tijek rastezanja se bilježi na papiru pisačem koji sistemom poluga prenosi promjene na papir i dobiva se graf. Tijesto se ponovno premjesi, stavlja na odmaranje još 2 puta po 45 minuta i nakon svakog odmaranja ponovno se provodi ispitivanje. Parametri se bilježe na pokretnu papirnu traku pisaljka različite boje i taj grafički prikaz naziva se ekstenzogram (**Slika 18**).



Slika 18 Ekstenzogram (Đaković, 1980.)

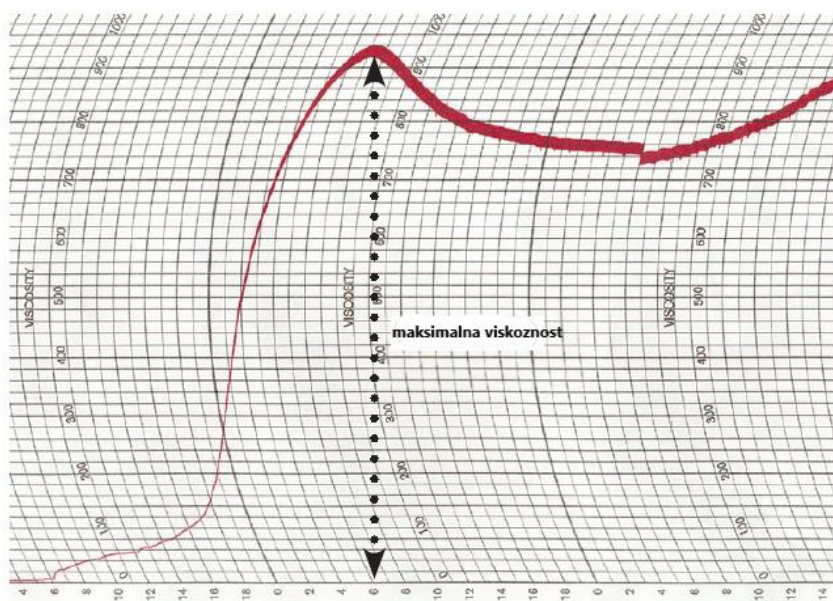
Očitavanje rezultata s ekstenzograma:

- Otpor na rastezanje (O) - sila koja je potrebna kako bi se komad tijesta istegnuo na određenu duljinu. Mjerilo otpora na ekstenzogramu je krivulja koja se dobije nakon 50 mm razvlačenja tijesta.
- Maksimalni otpor (O_{max}) - srednja vrijednost maksimalne visine na krivulji nakon zamjesa, a iskazuje se u ekstenzografskim jedinicama (EJ).

- Rastezljivost (R) - duljinu istegnutog tijesta od početka rastezanja do trenutka kidanja, a iskazuje se u milimetrima.
- Energija rastezanja (E) - površina ispod formirane krivulje (cm^2) koja prikazuje količinu energije utrošenu za rastezanje tijesta. Određivanje površine vrši se planimetrom.
- Odnos otpora i rastezanja (O/R) prema rastezljivosti - omjer brojčane vrijednosti otpora na petom centimetru rastezanja i brojčane vrijednosti rastezljivosti.

3.3.3. Određivanje aktivnosti α -amilaze na amilografu

Za indirektno određivanje amilolitičke aktivnosti upotrebljava se amilograf firme Brabender (Brabender, Duisburg, Njemačka). Uređaj je rotacijski viskozimetar koji mjeri otpor miješača koji su uronjeni u suspenziju brašna i vode. Za ispitivanje je se koristi 80 grama brašna suspendiranih u 450 ml destilirane vode pri vlazi brašna od 14 %. Suspenzija se napravi u laboratorijskoj čaši i potom se ulijeva u mjernu posudu na ležištu uređaja, a mjerna glava s mjernim tijelom se spušta u suspenziju i počinje mjerenje pri 250 okretaja u minuti na početnoj temperaturi od 30 °C s brzinom zagrijavanja od 1,5 °C/min, a krajnja temperatura iznosi 90 °C. Povećavanjem temperature suspenzija brašna i vode prelazi u želatinizirani oblik, čime se povećava otpor miješanju. Što je gustoća gela veća, to je manja enzimska aktivnost u brašnu.



Slika 19 Amilogam (U.S.Wheat Associates, 2008.)

Podaci se bilježe pomoću pisača na pokretnu traku papira. Rezultati prikazuju ovisnost viskoznosti (zakretnog momenta) i temperature o vremenu. Grafički prikaz naziva se amilogram (**Slika 19**), a iz njega se mogu očitati početna temperatura želatinizacije ($^{\circ}\text{C}$), temperatura maksimuma ($^{\circ}\text{C}$) i maksimalna viskoznost (amilografske jedinice, AJ) i stabilnosti (min).

Podaci koji se mogu iščitati s amilograma su:

- Početna temperatura želatinizacije u $^{\circ}\text{C}$,
- Temperatura maksimuma u $^{\circ}\text{C}$,
- Maksimalna viskoznost u AJ - ukazuje na amilolitičku aktivnost enzima i ako je ona visoka, amilolitička aktivnost je niska,
- Stabilnost želatinizacije u min - ovisi o djelovanju amilolitičkih enzima i što je duža to je manja aktivnost enzima.

3.3.4. Određivanje broja padanje po Hagberg- Pertenu

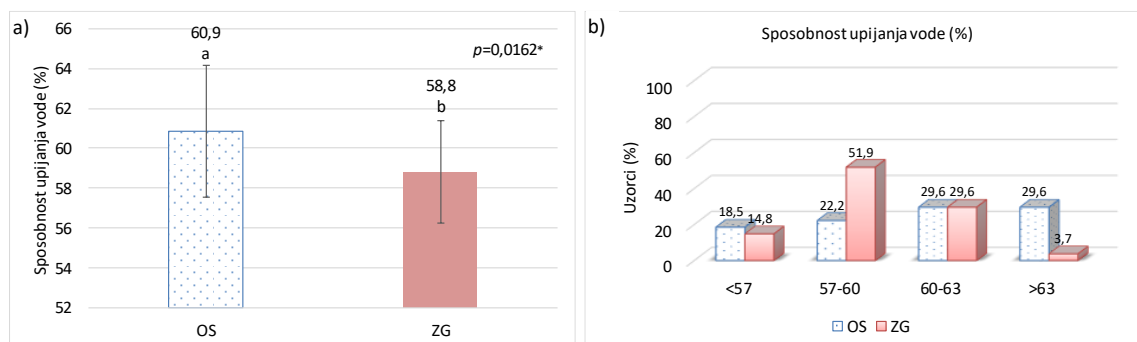
Za broj padanja po Hagberg- Pertenu korišten je uređaj po Hagbergu (Perten Instruments). Određivanjem broja padanja indirektno se određuje aktivnost α -amilaze na škrobu ispitivanog uzorka. Prije početka ispitivanja uzorak pšenice (300 g) se samlelje na laboratorijskom mlinu čekićaru (Perten Instruments 3100) koji ima veličinu otvora sita 0,8 mm. Od dobivenog brašna odvaže se 7 g uzorka (preračunato na vlagu 15 %), prenese u kivetu i pipetom se doda 25 cm³ destilirane vode temperatura 22 $^{\circ}\text{C}$, kiveta se zatvori i suspenzija se dobro homogenizira mućkanjem. Nakon toga se u kivetu ulaže miješalica te se kiveta stavlja u vodenu kupelj uređaja. Uređaj se uključuje te se vrši intenzivno miješanje tijekom 60 s, a potom mješalo prodire kroz nastali škrobni gel te se mjeri vrijeme trajanja kretanja mješala kroz nastali gel. Nakon zvučnog signala uređaj se isključuje i očitava se broj sekundi koji označava broj padanja. Prema očitanoj broju padanja utvrđuje se amilolitička aktivnost u uzorku. Broj padanja ispod 150 sekundi ukazuje na visoku aktivnost α -amilaze, odnosno da je pšenica proklijala i kruh od takve pšenice imao bi ljepljivu sredinu. Broj padanja od 250 do 300 se smatra idealnim za pšenicu namijenjenu proizvodnji kruha. Ako je broj padanja veći od 350, amilolitička aktivnost bila bi preniska te bi kruh od brašna takve pšenice imao mali volumen i suhu sredinu.

3.3.5. Statistička obrada rezultata

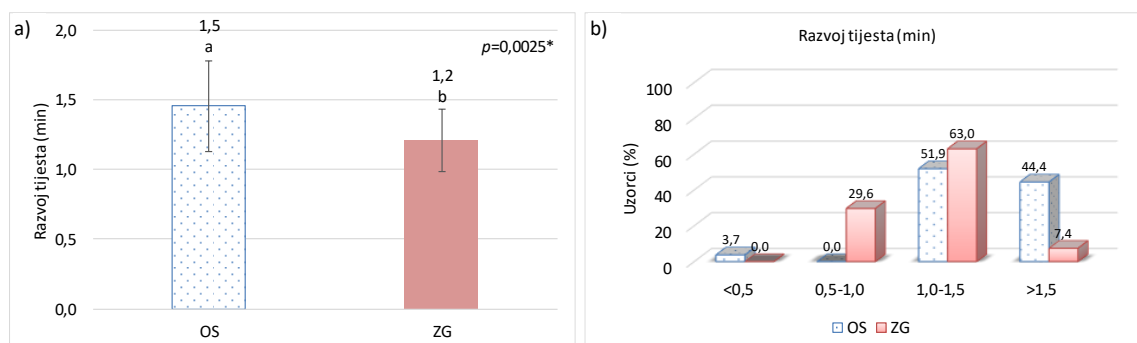
Dobiveni rezultati su prikazani kao srednja vrijednost \pm standardna devijacija. Utvrđivanje eventualne statistički značajne razlike u reološkim pokazateljima kvalitete između dviju lokacija provedeno je pomoću Studentovog *t*-testa pri 95 %-tnom nivou značajnosti upotrebom programa Statistica 13.1 (Statsoft, SAD) i Office Excel 2013 (Microsoft., SAD).

4. REZULTATI

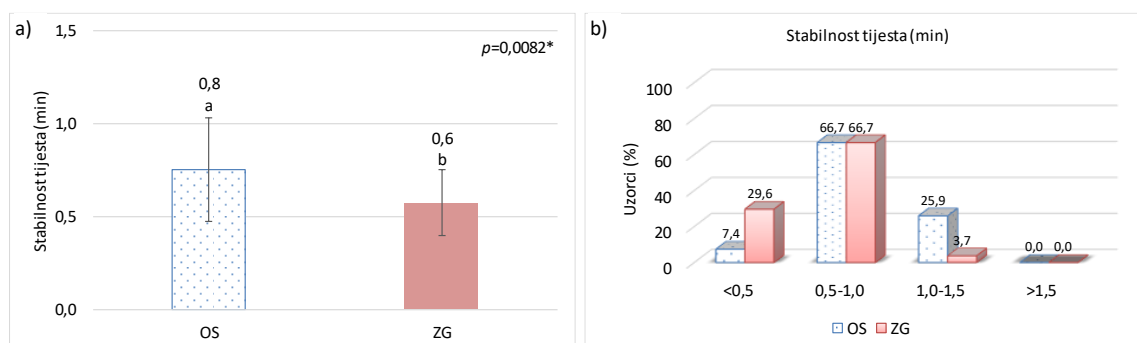
4.1. REZULTATI FARINOGRAFSKIH ISPITIVANJA



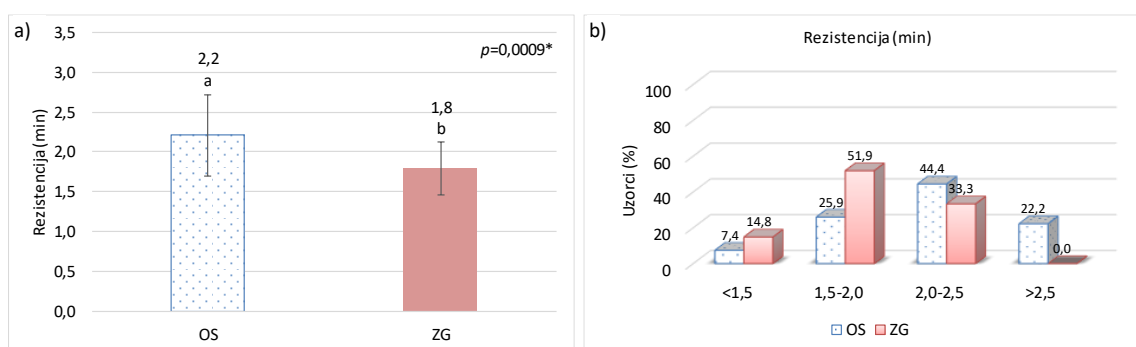
Slika 20 Spособnost upijanja vode brašna različitih sorti pšenice s osječkog i zagrebačkog područja



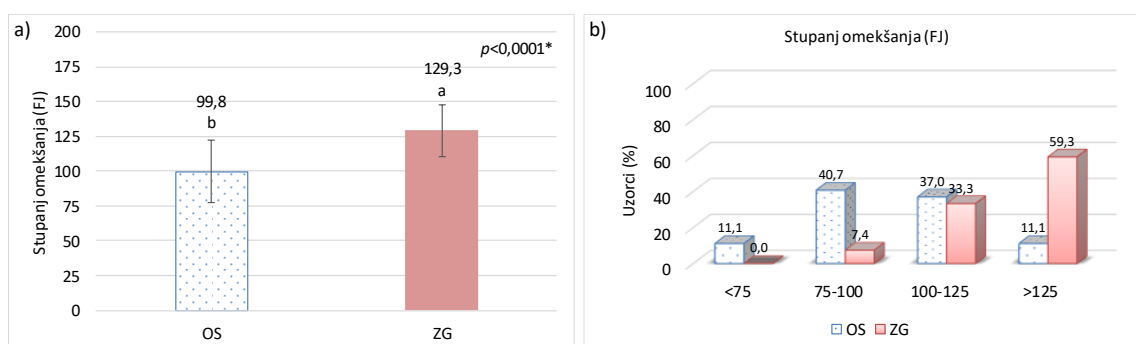
Slika 21 Razvoj tijesta od brašna različitih sorti pšenice s osječkog i zagrebačkog područja



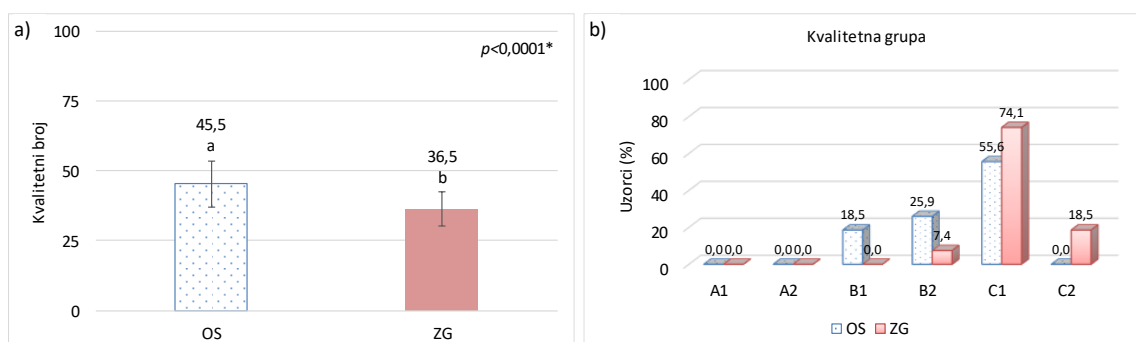
Slika 22 Stabilnost tijesta od brašna različitih sorti pšenice s osječkog i zagrebačkog područja



Slika 23 Rezistencija tijesta od brašna različitih sorti pšenice s osječkog i zagrebačkog područja

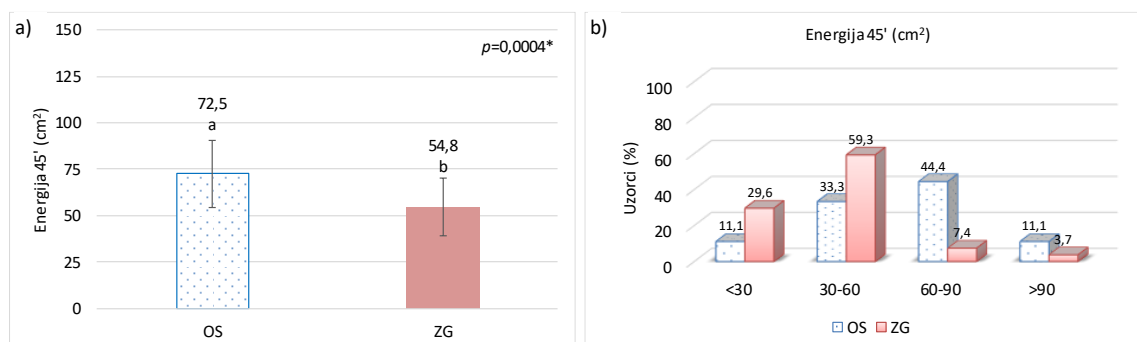


Slika 24 Stupanj omekšanja tijesta od brašna različitih sorti pšenice s osječkog i zagrebačkog područja

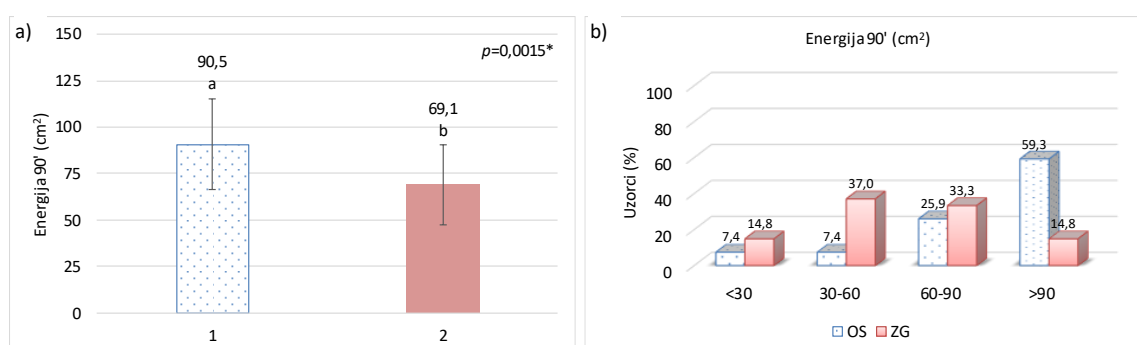


Slika 25 Kvalitetni broj i kvalitetne grupe brašna različitih sorti pšenice s osječkog i zagrebačkog područja

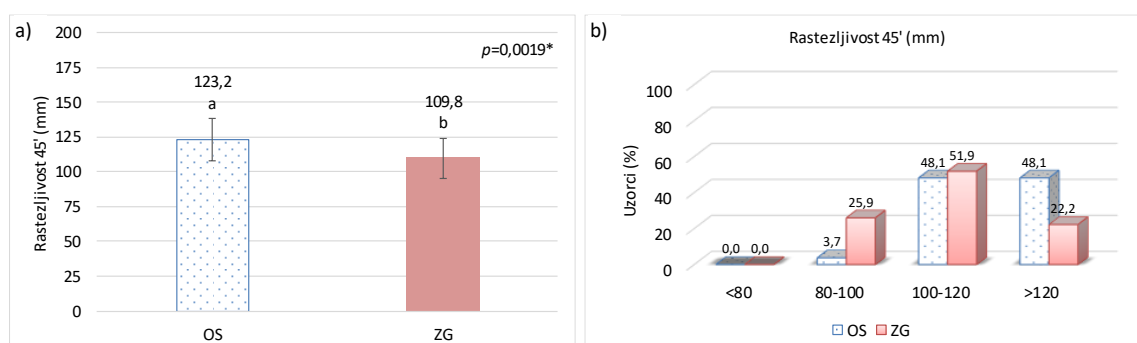
4.2. REZULTATI EKSTENZOGRAFSKOG ISPITIVANJA



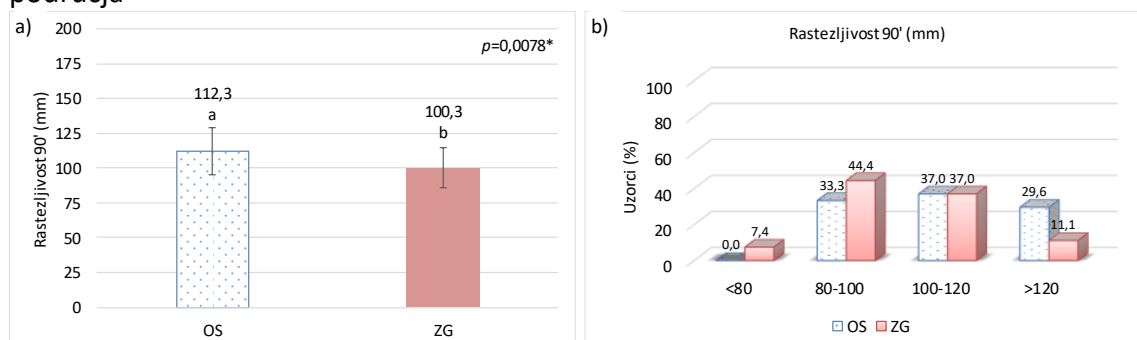
Slika 26 Energija (45 min) potrebna za rastezanje tijesta od brašna različitih sorti pšenice s osječkog i zagrebačkog područja



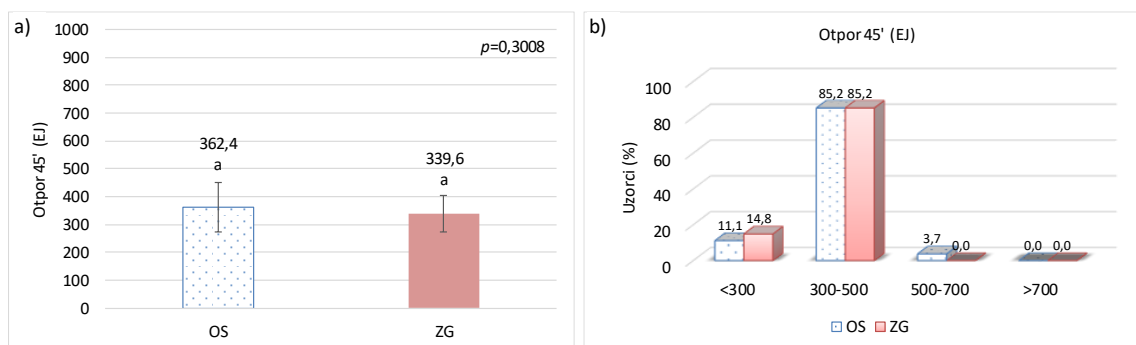
Slika 27 Energija (90 min) potrebna za rastezanje tijesta od brašna različitih sorti pšenice s osječkog i zagrebačkog područja



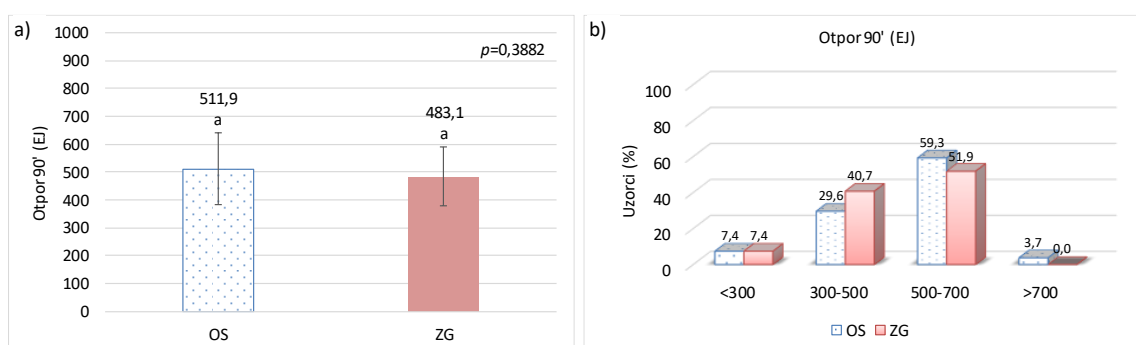
Slika 28 Rastezljivost tijesta (45 min) od brašna različitih sorti pšenice s osječkog i zagrebačkog područja



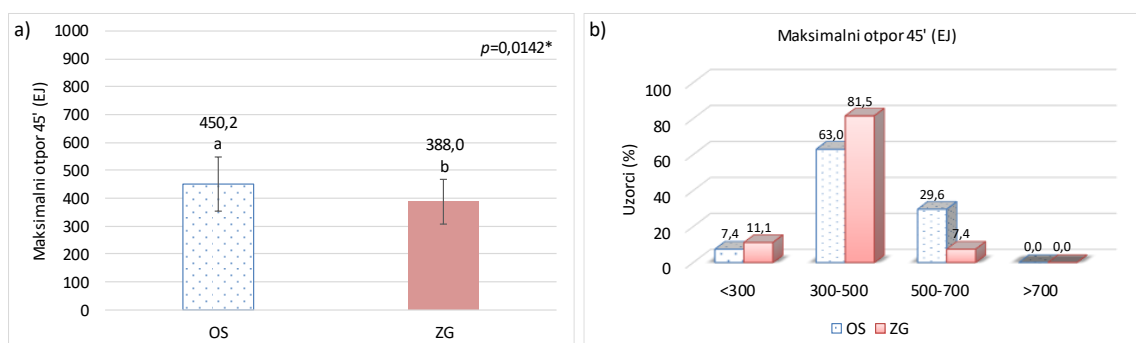
Slika 29 Rastezljivost tijesta (90 min) od brašna različitih sorti pšenice s osječkog i zagrebačkog područja



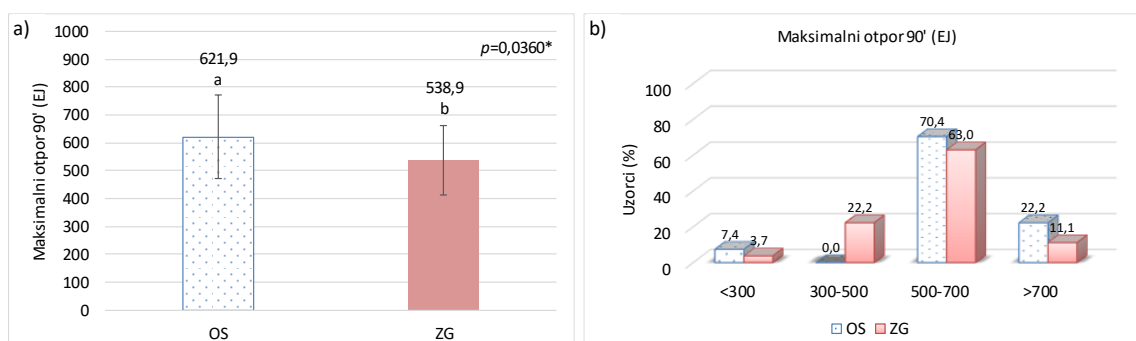
Slika 30 Otpor tijesta (45 min) od brašna različitih sorti pšenice s osječkog i zagrebačkog područja



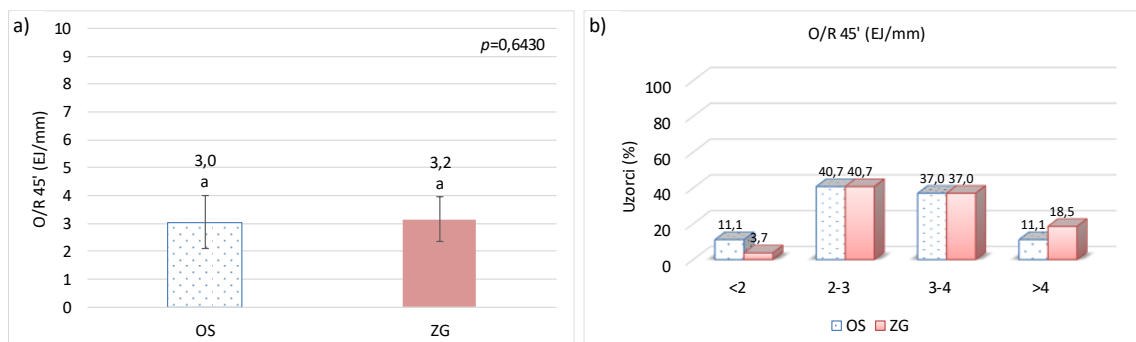
Slika 31 Otpor tijesta (90 min) od brašna različitih sorti pšenice s osječkog i zagrebačkog područja



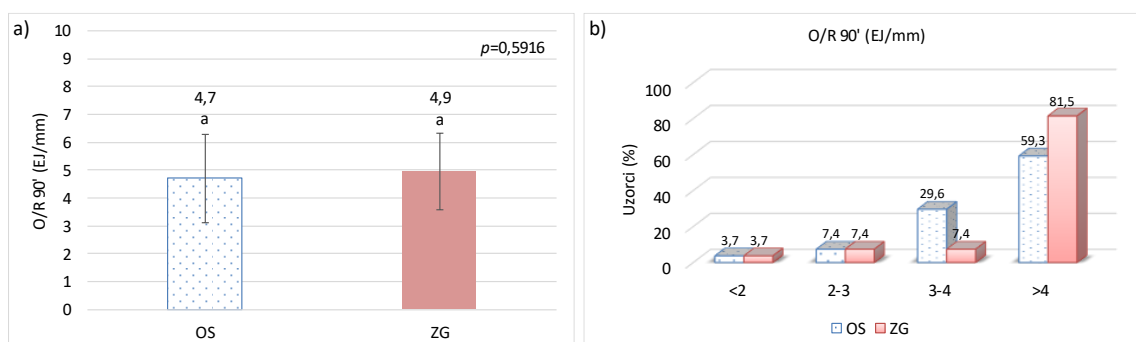
Slika 32 Maksimalni otpor tijesta (45 min) od brašna različitih sorti pšenice s osječkog i zagrebačkog područja



Slika 33 Maksimalni otpor tijesta (90 min) od brašna različitih sorti pšenice s osječkog i zagrebačkog područja

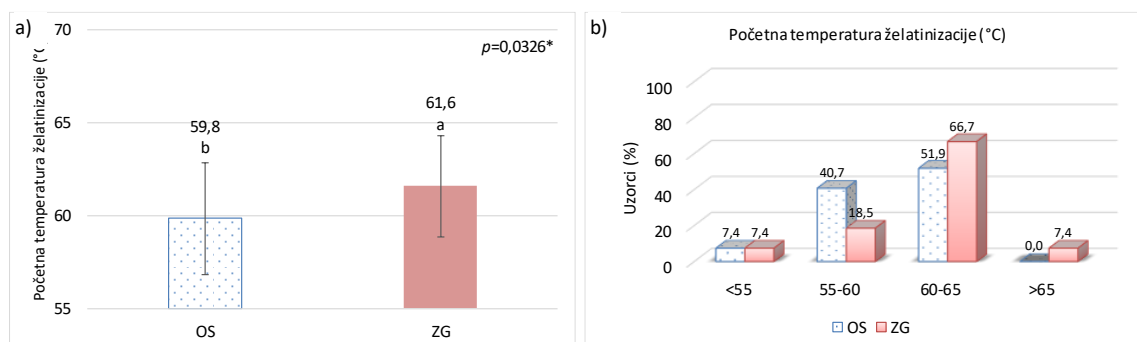


Slika 34 Omjer otpora i rastezljivosti tijesta (45 min) od brašna različitih sorti pšenice s osječkog i zagrebačkog područja

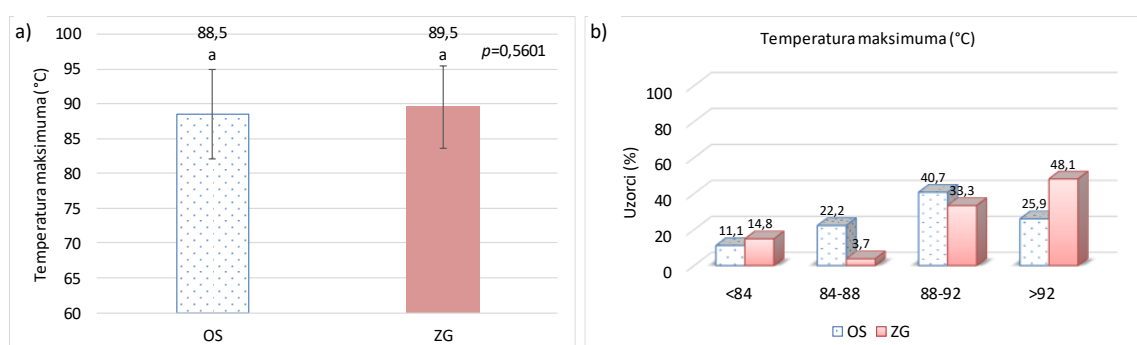


Slika 35 Omjer otpora i rastezljivosti tijesta (90 min) od brašna različitih sorti pšenice s osječkog i zagrebačkog područja

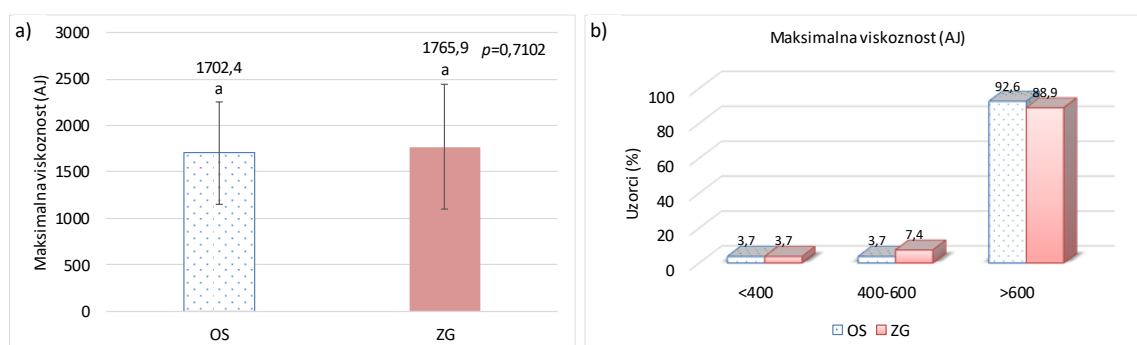
4.3. REZULTATI AMIOLOGRAFSKOG ISPITIVANJA I BROJA PADANJA



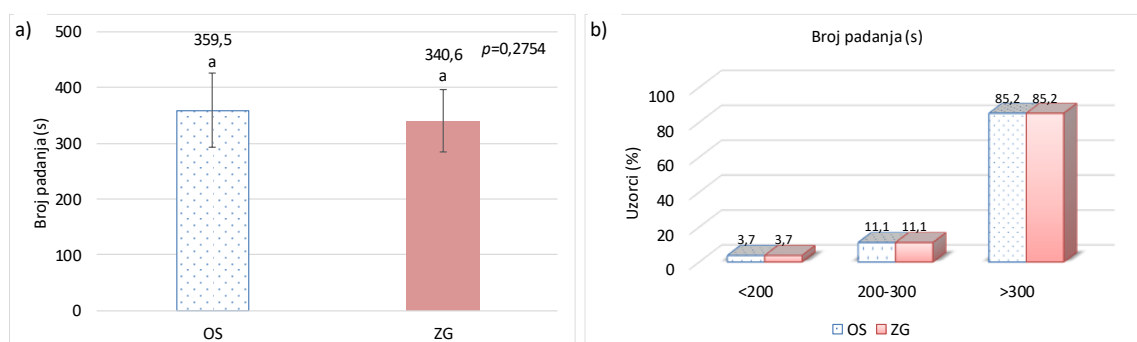
Slika 36 Početna temperatura želatinizacije brašna različitih sorti pšenice s osječkog i zagrebačkog područja



Slika 37 Temperatura maksimuma želatinizacije brašna različitih sorti pšenice s osječkog i zagrebačkog područja



Slika 38 Maksimalna viskoznost suspenzije brašna različitih sorti pšenice s osječkog i zagrebačkog područja



Slika 39 Broj padanja brašna različitih sorti pšenice s osječkog i zagrebačkog područja

5. RASPRAVA

5.1. FARINOGRAFSKA ISPITIVANJA

Prosječne vrijednosti određivanja sposobnosti upijanja vode, tj. koliko je vode potrebno da bi se zamijesilo tijesto optimalne konzistencije od 500 FJ za svih 27 ispitivanih uzoraka s osječkog te 27 uzoraka sa zagrebačkog područja prikazane su na **Slici 20 a**. Vidljivo je da uzorci s osječkog područja imaju veću sposobnost upijanja vode, što je prema rezultatima ovog istraživanja prosječno iznosilo 60,8 % te da postoji značajna statistička razlika ($p = 0,0162$) u sposobnosti upijanja vode između uzoraka istih sorti uzgojenih na osječkom i zagrebačkom području prema student t-testu.

Iz **Slike 20 b**) je vidljivo da sposobnost upijanja vode od 57 do 60 % ima 14 uzoraka sa zagrebačkog područja (51,9 %) i 6 uzoraka s osječkog područja (22,2 %). Sposobnost upijanja vode 60 do 63 % ima isti broj uzoraka i sa osječkog i sa zagrebačkog područja (29,6 %). Više od 63 % sposobnosti upijanja vode ima 8 uzoraka (29,6 %) s osječkog područja, dok je tu vrijednost sposobnosti upijanja vode ima samo jedan zagrebački uzorak (3,7 %).

Prema Kljusuriću (2000.), sposobnost upijanja vode kod pšeničnih brašna ovisi o količini i vrsti proteina koji se nalaze u brašnu. To je bitno jer proteini imaju sposobnost bubrenja prilikom upijanja vode i na taj način povećavaju svoj volumen. Tako se stvara i gluten koji je bitan za stvaranje prostorne mreže u koju se uklapaju zrna škroba te za nastajanje kruha. Što je veća količina proteina, brašno će upiti više vode, odnosno njegova će sposobnost upijanja biti veća (Kljusurić, 2000.). Osim količine i vrste proteina važna je i granulacija brašna. Ako je brašno previše usitnjeno može imati veći udio oštećenih granula škroba koje onda dodatno upijaju vodu (Žeželj, 2005.). Prosječne vrijednosti za sposobnost upijanja vode kod pšeničnih brašna iznose od 50 do 70 % (Koceva Komlenić i Jukić, 2016.), a rezultati u ovom radu u skladu su s tim vrijednostima. Također je navedeno da je sposobnost upijanja vode jedan od najvažnijih pokazatelja kvalitete brašna jer direktno utječe na kvalitetu i prinos krajnjeg proizvoda i ima praktičnu vrijednost, te je vrlo važan parametar u određivanju snage ili jakosti brašna kao i za izračun cijene pekarskih proizvoda (Dapčević Hadnađev i sur., 2011.).

Slika 21 prikazuje vrijednosti dobivene za razvoj tijesta od brašna sorti pšenica uzgojenih na osječkim i zagrebačkim lokacijama te predstavlja vrijeme koje je potrebno da se razvije tijesto optimalne konzistencije od 500 FJ. Prema **Slici 21 b**) razvoj tijesta od 0,5 do 1 min imalo je 8 (29,6 %) uzoraka s osječke lokacije i nijedan uzorak sa zagrebačke lokacije, razvoj tijesta od 1 do

1,5 min imalo je 14 uzoraka (51,9 %) s osječke lokacije i 17 uzoraka (63,0 %) sa zagrebačke lokacije, a razvoj tijesta dulji od 1,5 min imalo je 12 uzoraka (44,4 %) osječkog područja i 2 uzorka (7,4 %) zagrebačkog područja. Na **Slici 21 a)** nalazi se graf koji prikazuje da je razvoj tijesta kod osječkih uzoraka trajao u prosjeku 1,5 min, a kod zagrebačkih 1,2 min te da postoji značajna statistička razlika ($p = 0,0025$) između prosječnih vrijednosti razvoja tijesta uzoraka sorti pšenice s dvije lokacije, a prema studentovom t-testu. Razvoj tijesta ovisi o kvaliteti glutena i veličini granula škroba i stupnju njihove oštećenosti, odnosno o finoći mliva. Tako se vrijeme razvoja tijesta povećava s povećanom proteolitičkom razgradnjom i sa smanjenjem veličine granula škroba te brojem oštećenih granula škroba. Takvo brašno također ima i duži razvoj tijesta i veću sposobnost upijanja vode. Uobičajene vrijednosti za razvoj tijesta prema literaturi kreću se od 2 do 3,5 min, što pokazuje da ispitani uzorci u prosjeku nemaju zadovoljavajuće vrijeme razvoja tijesta (Koceva Komlenić i Jukić, 2016.). Brašna sa duljim vremenom razvoja tijesta, dužom stabilnošću i nižim stupnjem omekšanja smatraju se kvalitetnijima (Đaković, 1980.)

Stabilnost tijesta (**Slika 22 b)**) ili vrijeme za koje se ne mijenja konzistencija tijesta u vremenu manjem od 0,5 min imalo je 8 uzoraka (29,6 %) s osječkog područja i 2 uzorka (7,4 %) sa zagrebačkog područja, a najviše je uzoraka, njih 18 (66,7 %) i sa osječkog i sa zagrebačkog područja imalo stabilnost tijesta u rasponu od 0,5 do 1 min. Stabilnost tijesta u rasponu od 1,0 do 1,5 imalo je 7 osječkih uzoraka i samo jedan zagrebački, dok stabilnost veću od 1,5 min nije imao niti jedan uzorak sa bilo kojeg područja. S obzirom na prosječne vrijednosti prema literaturi (Koceva Komlenić i Jukić, 2016.) koji iznose od 1 do 4 min, ovi uzorci imaju slabu stabilnost tijesta, s obzirom da jer veći broj uzoraka imao kratku stabilnost tijesta, a poželjna je duža stabilnost tijesta.

Veću rezistenciju ili veći otpor na miješanje ima tijesto od brašna sorti pšenice sa osječkog područja (2,2 min) u odnosu na uzorke tijesta od brašna pšenice sa zagrebačkog područja koje je iznosilo 1,8 min (**Slika 23 a)**) te između prosječnih vrijednosti tih uzoraka postoji značajna statistička razlika ($p = 0,0009$) prema studentovom t-testu. Na **Slici 23 b)** vidljivo je da uzorci nemaju veliku rezistenciju na miješanje. Tako rezistenciju u trajanju od 1,5 do 2 min imaju 7 uzoraka (25,9 %) s osječkog područja i 14 uzoraka (51,9 %) sa zagrebačkog područja, a rezistenciju od 2 do 2,5 min ima 12 uzoraka (44,4 %) s osječkog i 9 uzoraka (33,3 %) sa zagrebačkog područja. Rezistenciju dulju od 2,5 min ima samo 6 uzoraka s osječkog područja, te nijedan zagrebački. Na otpor na miješanje utječe količina glutena u tijestu i njegova kvaliteta. Prema literaturi prosječne

vrijednosti rezistencije za pekarsku proizvodnju iznose od 3 do 7,5 min (Koceva Komlenić i Jukić, 2016.)

Slika 24 prikazuje prosječne vrijednosti stupanja omekšanja kod tijesta od brašna sorti pšenice s osječkog i zagrebačkog područja, a to označava razliku između crte optimalne konzistencije i sredine krivulje na kraju miješanja. Na **Slici 24 b)** prikazano je da 11 uzoraka (40,5 %) s osječkog područja i 2 uzorka (7,4 %) sa zagrebačkog područja imaju stupanj omekšanja između 75 i 100 FJ (farinografskih jedinica). Stupanj omekšanja u rasponu od 100 do 125 FJ ima 10 uzoraka (37,0 %) osječke lokacije i 9 uzoraka (33,3 %) zagrebačke lokacije dok najveći broj, čak 16 uzoraka sa zagrebačke lokacije ima stupanj omekšanja preko 125 FJ, što u postotcima iznosi 50,3 %. Prosječne vrijednosti stupnja omekšanja za uzorke s osječkog područja iznosile su 99,8 FJ, a zagrebačkih 129,3 FJ. Vidljivo je da je stupanj omekšanja znatno veći kod zagrebačkih uzoraka te da postoji statistički značajna razlika ($p = 0,0001$) u vrijednostima stupnja omekšanja, a prema studentovom t-testu.

Prema Đakoviću (1980.) nakon 15 minuta miješenja, kada je stupanj omekšanja ispod 75 FJ to označava da je brašno dobre kvalitete. Brašno sa stupnjem omekšanja u rasponu od 75 do 125 FJ je srednje kvalitete, a brašno sa stupnjem omekšanja sa preko 125 FJ smatra se brašnom loše kvalitete za pekarsku industriju. S obzirom na tumačenje iz literature (Đaković, 1980.), brašna u ovome radu su srednje kvalitete, s time da 50,3 % uzoraka sa zagrebačkog područja ima stupanj omekšanja preko 125 FJ, odnosno takvo je brašno slabe kvalitete. Stupanj omekšanja kao i stabilnost tijesta, parametri su koji ukazuju na kvalitetu glutena i opisuju viskoelastična svojstva tijesta za koja je odgovoran upravo gluten. Veća stabilnost tijesta i niži stupanj omekšanja u praksi ukazuje da je takvo tijesto pogodno i za dulju mehaničku obradu. Stupanj omekšanja također može biti pokazatelj proteolitičke razgradnje proteina (Dapčević Hadnađev i sur., 2011.).

Pomoću kvalitetnog broja, odnosno površine trokuta koji se može iščitati iz farinograma, može se odrediti kvalitetna grupa brašna. Vrijednost kvalitetnog broja kreće se od 0 do 100, a kvalitetne grupe brašna su A1, A2, B1, B2 te C1 i C2. Prema **Slici 25 b)** nijedan uzorak sa oba područja nije u kvalitetnim grupama A1 i A2. Kvalitetnu grupu B1 ima samo 5 uzoraka (18,5 %) sa osječkog područja i nijedan sa zagrebačkog. Kvalitetnoj grupi B2 pripadaju 7 uzoraka brašna s osječkog i 2 uzorka sa zagrebačkog područja. U kvalitetnu grupu C1 ulazi 15 uzoraka (55,6 %) osječke lokacije i 20 uzoraka sa zagrebačke lokacije što čini čak 74,1 % uzoraka sa zagrebačke lokacije. Kvalitetnoj grupi C2 pripadaju samo 5 uzoraka (18,5 %) sa zagrebačkog područja i nijedan osječki. Iz podataka

prikazanih na **Slici 25 a**) je vidljiva vrlo velika statistička razlika ($p < 0,0001$) između prosječnih vrijednosti kvalitetnih brojeva uzoraka istih sorti uzgojenih na zagrebačkom i osječkom području. Stoga je i kvaliteta brašna uzoraka s osječkog područja veća. To je vidljivo iz **Tablice 1** koja prikazuje određivanje kvalitetnih grupa i raspon kvalitetnih brojeva prema površini trokuta na farinogramskoj krivulji.

Tablica 1 Određivanje kvalitetne grupe brašna prema kvalitetnom broju (Žeželj, 2005.)

Površina trokuta u cm ²	Kvalitetni broj	Kvalitetna grupa
0 - 1,4	100- 85,3	A1
1,5 - 5,5	84,7- 70,2	A2
5,6 - 12,1	69,9- 55,1	B1
12,2 - 17,9 (17,6)	54,8- 44,5 (45)	B2
(17,7) 18,0- 27,4	(44,8) 44,4- 30,0	C1*
27,5- 50,0	29,8- 0,0	C2

5.2. EKSTENZOGRAFSKA ISPITIVANJA

Na **Slici 26 b**) prikazane su energije potrebne da se tijesto rastegne na određenu duljinu. Energija tijesta iskazuje se u cm² i prikazuje površinu ispod krivulje. U ovom ispitivanju nakon 45 min odmaranja tijesta na 30 °C 9 uzoraka (33,3 %) s osječkog područja ima energiju rastezanja u rasponu od 30 do 90 cm², a 12 uzoraka (44,4 %) ima energiju rastezanja u rasponu od 60 do 90 cm². Kod uzoraka sa zagrebačkog područja čak 59,3 % ili 16 od 27 uzoraka ima energiju rastezanja od 30 do 60 cm², samo 2 uzorka ima energiju rastezanja u rasponu od 60 do 90 cm², a 8 uzoraka (29,6 %) ima energiju rastezanja ispod 30 cm². Tako je na **Slici 26 a**) vidljivo da postoji značajna statistička razlika ($p = 0,0004$) između prosječnih vrijednosti energija uzoraka s osječkog i sa zagrebačkog područja. Nakon 90 min odmaranja tijesta s oba područja, situacija se mijenja, kako je prikazano na **Slici 27 b**). Tada veći broj uzoraka ima veću energiju potrebnu za rastezanje nego nakon 45 min odmaranja, pa tako 7 uzoraka (25,9 %) s osječkog i 9 uzoraka (33,3 %) sa zagrebačkog područja ima energiju rastezanja u rasponu 60 do 90 cm², a 16 uzoraka ili 59,3 % uzoraka s osječkog područja ima energiju rastezanja preko 90 cm², dok tu vrijednost imaju 4 uzorka sa zagrebačkog područja (14,8 %). Rezultati ukazuju da će uzorci pšenice s osječkog područja imati snažnije brašno na samom početku, odnosno nakon prvih 45 min odmaranja, dok će uzorci pšenice sa zagrebačkog područja mljevenjem dati slabije brašno. Nakon premjesivanja

i odmaranja sljedećih 45 min, snaga brašna se povisuje i kod osječkih i kod zagrebačkih uzoraka. To se događa zbog operacije premjesivanja kuglice tijesta. Kada bi se tijesto ostavilo da odmara bez premjesivanja, njegova bi se energija za rastezanje smanjila, ono bi postalo lakše obradivo (Đaković, 1980.).

Slike 28 i 29 prikazuju rastezljivost tijesta nakon 45 i 90 min odmaranja. Na **Slici 28 b)** prikazano je da nijedan uzorak sa oba područja nema rastezljivost manju od 80 mm, a da 13 uzoraka (48,1 %) s osječskog i 14 uzoraka (51,9 %) sa zagrebačkog područja imaju rastezljivost u rasponu od 100 do 120 mm. Rastezljivost preko 120 mm ima 13 osječkih i 6 zagrebačkih uzoraka. Prosječna vrijednost rastezljivosti kod osječkih uzoraka iznosila je 123,2 mm, a kod zagrebačkih uzoraka iznosila je 109,8 mm (**Slika 28 a)**). Nakon premjesivanja i sljedećih 45 min odmaranja, rastezljivost se smanjila i kod uzoraka sa osječskog i kod uzoraka sa zagrebačkog područja te je kod osječkih uzoraka iznosila 112,3 mm, a kod zagrebačkih 100,3 mm (**Slika 29 a)**). U tom je slučaju 9 uzoraka (33,3 %) s osječskog područja imalo rastezljivost 80- 100 mm, 10 uzoraka (37,0 %) rastezljivost 100- 120 mm i 8 uzoraka (29,6 %) rastezljivost preko 120 mm. Kod uzoraka sa zagrebačkog područja 12 uzoraka (44,4 %) imalo je rastezljivost 80- 100 mm, 10 uzoraka (37,0 %) imalo je rastezljivost 100- 120 mm i 3 uzorka imalo je rastezljivost preko 120 mm (**Slika 29 b)**). Ovi podaci ukazuju da brašna uzoraka istih sorti uzgojenih na različitim područjima imaju srednju rastezljivost, što upućuje da je većina brašna ovih uzoraka prema ovom parametru pogodna za proizvodnju kruha. Ako je rastezljivost ispod 80 mm, to upućuje da tijesto ima kratak gluten, odnosno čvrst gluten zbog čega je manje rastezljivo. Tijesto takvog brašna slabo zadržava plinove, odnosno ostaje malog volumena i nakon odmaranja. S druge strane, brašna koja imaju vrijednost rastezljivosti veću od 120 mm također nisu pogodna za pekarsku proizvodnju jer je tijesto previše rastezljivo, slabo povećava volumen prilikom odmaranja, viskozno je i rasplinjava se (Đaković, 1980.).

Slika 30 b) prikazuje otpor tijesta na rastezanje te je vidljivo da najveći broj uzoraka, njih 85,2 % (23) i s osječskog i sa zagrebačkog područja ima otpor na rastezanje u rasponu od 300 do 500 EJ (ekstenzografskih jedinica). To znači da ova tijesta imaju gluten srednje čvrstoće što je još uvijek pogodno za izradu pekarskih proizvoda i kruhova. Premjesivanjem i odmaranjem sljedećih 45 min, otpor na rastezanje se povećava kod nekih uzoraka pa tako prema **Slici 31 b)** 8 uzoraka (29,6 %) s osječskog i 11 uzoraka (40,7 %) sa zagrebačkog područja imaju otpor na rastezanje u vrijednostima 300- 500 EJ, a 16 uzoraka (59,3 %) s osječskog područja i 14 uzoraka (51,9 %) sa

zagrebačkog područja imaju otpor na rastezanje od 500 do 700 EJ što je karakteristika jakog tijesta i pokazuje da se odmaranjem tijesta poboljšava kvaliteta glutena i njegova mehanička svojstva. Prema **Slici 30 a)** prosječne vrijednosti za uzorke s osječkog područja nakon 45 min odmaranja iznosile su 362,4 EJ, a za uzorke sa zagrebačkog područja 339,6 EJ. Prosječne vrijednosti otpora tijesta na rastezanje nakon 90 min odmaranja za osječke uzorke iznosile su 511,9 EJ, a za zagrebačke uzorke 483,1 EJ te su prikazane na **Slici 31 a)**. Razlike u otporu u oba slučaja (nakon 45 min i nakon 90 min) nisu statistički značajne prema studentovom t-testu.

Maksimalni otpori tijesta na rastezanje nakon 45 min odmaranja prikazani su na **Slici 32 b)**. Maksimalni otpor na rastezanje u rasponu od 300 do 500 EJ imalo je 63 % (17) uzoraka s osječke lokacije i 81,5 % (22) uzoraka sa zagrebačke lokacije, dok je 29,6 % (8) osječkih i 7,4 % (2) zagrebačkih uzoraka imalo maksimalni otpor na rastezanje 500- 700 EJ. Nakon 90 min odmaranja maksimalni otpori su se povećali u oba slučaja pa je tako, 70,4 % (19) uzoraka sa osječkog i 63 % (17) uzoraka sa zagrebačkog područja imalo maksimalne otpore u rasponu od 500 do 700 EJ, a 22,2 % (6) osječkih i 11,1 % (3) zagrebačkih uzoraka imalo je maksimalne otpore i preko 700 EJ (**Slika 33 b)**).

Omjer otpora i rastezljivosti (O/R) prikazuje osobine glutena i što je veći to je gluten jači (kratak i neelastičan). Na **Slici 34 b)** 11 uzoraka i s osječkog i sa zagrebačkog područja imaju vrijednosti omjera O/R od 2 do 3 EJ/mm, a po 10 uzoraka sa oba područja imaju vrijednosti omjera od 3 do 4 EJ/mm nakon 45 min odmaranja. Prosječne su vrijednosti omjera O/R prikazane na **Slici 34 a)** približne za uzorke s oba područja i iznose 3,0 EJ/mm i 3,2 EJ/mm što označava jak gluten. Omjer O/R nakon 90 min odmaranja prikazan je na **Slici 35 b)**. 8 uzoraka s osječkog i 2 uzorka sa zagrebačkog područja imaju vrijednost omjera O/R 3-4 EJ/mm, a vrijednost omjera O/R iznad 4 EJ/mm ima 16 uzoraka s osječkog područja i 22 uzorka sa zagrebačkog područja. To ukazuje na povećanje čvrstoće i snage glutena nakon premjesivanja i odmaranja. Takvo tijesto daje kruh malog volumena jer je nerastezljivo i neelastično. Na **Slici 35 b)** vidljivo je da je visoka prosječna vrijednost za uzorke s oba područja bez statistički značajne razlike i iznosi 4,7 EJ/mm za uzorke s osječke lokacije i 4,9 EJ/mm za uzorke sa zagrebačke lokacije. Prema ovome omjeru karakterizira se jakost, odnosno snaga glutena i shodno tome jakost (snaga) brašna (Kljusurić, 2000., Kocева Komlenić i Jukić, 2016.).

5.3. AMILOGRAFSKA ISPITIVANJA I BROJ PADANJA

Amilografsko ispitivanje brašna vrši se zbog utvrđivanja prisutnosti i aktivnosti amilolitičkih enzima (α -amilaza). Na **Slici 36 b)** prikazane su početne temperature želatinizacije suspenzije brašna u vodi. 11 uzoraka (40,7 %) s osječke lokacije i 5 uzoraka (18,5 %) sa zagrebačke lokacije imali su početnu temperaturu u rasponu od 55 do 60 °C, 14 uzoraka (51,9 %) s osječkog i 18 uzoraka (66,7 %) sa zagrebačkog područja imali su početnu temperaturu želatinizacije između 60 i 65 °C, a samo je 2 uzorka sa zagrebačkog područja imalo početnu temperaturu želatinizacije iznad 65 °C. Početna temperatura želatinizacije označava početak bubrenja granula škroba koje su još čitave i povećanje viskoznosti. Prosječne vrijednosti za početnu temperaturu želatinizacije iskazane su na **Slici 36 a)** i iznose 59,8 °C za uzorke uzgojene na osječkom području i 61,6 °C za uzorke uzgojene na zagrebačkom području.

Slika 37 b) prikazuje temperaturu maksimuma želatinizacije odnosno temperaturu na kojoj su granule potpuno nabubrene i počinju pucati, odnosno sadržaj granula počinje se ratlijevati izvan granule i tada želatinizirana brašnena suspenzija ima najveću viskoznost. Temperaturu maksimuma želatinizacije od 88 do 92 °C imalo je 11 uzoraka (40,7 %) s osječkog i 9 uzoraka (33,3 %) sa zagrebačkog područja, a temperaturu maksimuma želatinizacije iznad 92 °C imalo je 7 uzoraka (25,7 %) s osječkog i 13 uzoraka (48,1 %) sa zagrebačkog područja. **Slika 37 a)** prikazuje prosječne vrijednosti za temperaturu maksimuma želatinizacije i za uzorke s osječkog područja iznosi 88,5 °C, a za uzorke sa zagrebačkog područja 89,5 °C.

Vrijednost maksimalne viskoznosti suspenzije brašna i vode odvija se pri temperaturi maksimuma želatinizacije, ali se iskazuje u amilografskim jedinicama (AJ) i mjeri otpor koji pruža želatinizirana masa na mješalicu amilografa. Pri toj temperaturi i viskoznosti počinju djelovati i amilolitički enzimi koji se oslobađaju pucanjem škrobnih granula i nakon te vrijednosti opada viskoznost gela (Žeželj, 2005.). Na **Slici 38 b)** prikazano je da najveći broj uzoraka i sa jednog i sa drugog područja iznosi iznad 600 AJ, odnosno 92,6 % za uzorke s osječkog područja, a 88,9 % sa zagrebačkog područja. Prosječne vrijednosti maksimalne viskoznosti navedene na **Slici 38 a)** iznose 1702,4 AJ za uzorke s osječke i 1765,9 AJ za uzorke sa zagrebačke lokacije. Vrijednost maksimalne viskoznosti iznad 1000 AJ ukazuje da brašna imaju vrlo malu amilolitičku aktivnost, a optimalna vrijednost brašna za pekarstvo kreće se u rasponu od 450- 600 AJ. Ako je aktivnost amilolitičkih enzima preniska u brašnu, tada takva brašna daju kruh suhe i mrvljive sredine te tamnije boje kore (Žeželj, 2005.). U slučaju proizvodnje kruha i drugih pekarskih proizvoda od takvih brašna,

može se dodati slavno brašno koje ima visoku amilolitičku aktivnost kako bi se dobilo brašno optimalnih svojstava i kvalitete za pekarsku proizvodnju (Koceva Komlenić i Jukić, 2016.).

Slika 39 a) prikazuje prosječne vrijednosti broja padanja, metode za određivanje viskoznosti i indirektno amilolitičke aktivnosti u brašnu. Prosječna vrijednost uzoraka s osječkog područja iznosi 359,5 s, a za uzorke sa zagrebačkog područja iznosi 340,6 s. Na **Slici 39 b)** vidljivo je da po jedan uzorak sa oba područja ima vrijednost broja padanja nižu od 200 s, po 3 uzorka s oba područja imaju broj padanja od 200 do 300 s, a po 23 uzorka ili 85,2 % uzoraka s oba područja imaju broj padanja iznad 300 što također, kao što je dobiveno u amilografskom ispitivanju maksimalne viskoznosti, ukazuje na nisku amilolitičku aktivnost u brašnu. To je također pokazatelj da zrna takve pšenice nisu proklijala, niti oštećena mikroorganizmima ili insektima (Žeželj, 2005.)

6. ZAKLJUČCI

Na temelju rezultata reoloških ispitivanja tijesta od brašna sorti ozime pšenice roda 2017. godine koja su provedena u ovome radu, mogu se izvesti sljedeći zaključci:

- Prema svim farinografskim pokazateljima kvalitete brašna pšenica s osječkog područja pokazala se ukupno značajno kvalitetnija od pšenice sa zagrebačkog područja, a to je naročito vidljivo iz rezultata određivanja kvalitetnog broja i razvrstavanja u kvalitetne grupe.
- Razlika u kvaliteti pšenice s dvije lokacije prema ekstenzografskim pokazateljima nije bila toliko izražena i uočena je samo u nešto većim vrijednostima za energiju i rastezljivost kod pšenice s osječkog u odnosu na pšenicu sa zagrebačkog područja.
- Prema indirektnim pokazateljima amilolitičke aktivnosti, maksimalnoj viskoznosti i broju padanja, nije bilo statistički značajne razlike između lokacija, a na obje lokacije je amilolitička aktivnost pšeničnog brašna bila vrlo niska.
- Prema rezultatima reoloških ispitivanja u ovome radu utvrđeno je da su uzorci uzgojeni na osječkom području bolje kvalitete u odnosu na uzorke uzgojene na zagrebačkom području tijekom vegetacijske godine 2016./17.
- Budući da su tijekom uzgoja pšenice provedene identične agrotehničke mjere na obje lokacije, može se zaključiti da su glavni uzrok razlika u kvaliteti pšenice s osječkog i zagrebačkog područja različiti klimatski uvjeti.

6. LITERATURA

Atwell, W. A.: Wheat Flour. AACC International, Inc., USA, 2001.

Curtis, B. C.: Wheat in the world, Food and Agricultural Organisation of the United Nations. 2002., <http://www.fao.org/docrep/006/y4011e/y4011e04.htm#TopOfPage> [15.6.2018.]

Dapčević Hadnađev T, Pojić M, Hadnađev M and Torbica A: The Role of Empirical Rheology in Flour Quality Control. Wide Spectra of Quality Control Isin Akyar, IntechOpen, 2011., <https://www.intechopen.com/books/wide-spectra-of-quality-control/the-role-of-empirical-rheology-in-flour-quality-control> [29.6.2018.]

Đaković, Lj: Pšenično brašno, fizičko-hemijski osnovi određivanja tehnološkog kvaliteta pšeničnog brašna. Tehnološki fakultet Zavod za izdavanje udžbenika Novi Sad, 1980.

Evers, A. D., Bechtel, D. B.: Microscopic structure of the wheat grain. u Wheat: Chemistry and technology I, ur. Pomeranz, Y., American Association of Cereal Chemists Inc., St. Paul Minnesota, USA, 1988.

Grgić, I: Korelacija reoloških svojstava ječma i kvalitete slada. Diplomski rad. Prehrambeno-tehnološki fakultet, Osijek, 2015.

Halverson, J., Zeleny, L.: Criteria of wheat quality u Wheat: Chemistry and technology I, ur. Pomeranz, Y., American Association of Cereal Chemists Inc., St. Paul Minnesota, USA, 1988.

Hoseney, R. C.: Principles of Cereal Science and Technology. American Association of Cereal Chemists, Inc., St. Paul, Minnesota, USA, 1994.

ICC standard 107/1, Standard Methods of the International Association for Cereal Science and Technology no 107/1 Determination of the "Falling Number" according to Hagberg - as a Measure of the Degree of Alpha-Amylase Activity in Grain and Flour, Vienna, Austria, 1995.

ICC standard 114/1, Standard Methods of the International Association for Cereal Science and Technology no 114/1 Method for using the Brabender Extensograph, Vienna, Austria, 1992.

ICC standard 115/1, Standard Methods of the International Association for Cereal Science and Technology no 115/1 Method for using the Brabender Farinograph, Vienna, Austria, 1992.

ICC standard 126/1, Standard Methods of the International Association for Cereal Science and Technology no 126/1 Method for using the Brabender Amylograph, Vienna, Austria, 1992.

Kent-Jones, D. W., Singh, R. P.: Cereal processing, Encyclopædia Britannica, 2010.
<https://www.britannica.com/technology/cereal-processing#ref501133> (3.7.2018.)

Khan, K., Shewry, P. R.: Wheat- Chemistry and Technology. American Association of Cereal Chemists, Inc., USA, 2009.

Kljusurić, S: Uvod u tehnologiju mljevenja žitarica. Prehrambeno- tehnološki fakultet Sveučilišta Josip Juraj Strossmayer u Osijeku, Metković, 2000.

Koceva Komlenić, D., Jukić, M.: Tehnologija proizvodnje i prerade brašna, prehrambeno- tehnološki fakultet Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, 2016.,
http://studenti.ptfos.hr/Diplomski_studij/Tehnologija_proizvodnje_i_prerade_brasna/inzenjers_tvo/ [20.6.2018.]

Lovrić, T.: Procesi u prehrambenoj industriji s osnovama prehrambenog inženjerstva. Sveučilište u Zagrebu, HINUS Zagreb, 1991.

Menjivar, J. M.: Fundamental Aspects of Dough Rheology. Dough rheology and Baked Product Texttrue, 1-28, Van Nostrand Reinhold New York, 1990.

NZFMA - New Zeland Flour Millers Association: Wheat: The Structure & Physical Characteristics. 2010, <http://www.flourinfo.co.nz/index.php/nzfma-knowledgebase/4-wheat/8-wheat-the-structure-a-physical-characteristics> [10.6.2018.]

Oliver JR, Allen HM: The Prediction of Bread Baking Performance Using the Farinograph and Extenzograph. Journal of Cereal Science 15 (1992) 79- 89, 1992.

Pomeranz, Y.: Chemical composition of kernel structure u Wheat: Chemistry and technology I, ur. Pomeranz, Y., American Association of Cereal Chemists Inc., St. Paul Minnesota, USA, 1988.

Rapčan, I.: Priručnik za module „Bilinogojstvo“ i „Bilinogojstvo-praksa“. Poljoprivredni fakultet u Osijeku, 2014.

Šramková, Z., Gregová, E., Štrudík, E.: Chemical composition and nutritional quality of wheat grain. Acta Chimica Slovaca, Vol.2, No.1, 115 - 138, 2009.

U.S. Weath Association: Wheat and Flour Testing Methods: A Guide to Understanding Wheat and Flour Quality: Version 2., Kansas State University, USA, 2008, <https://www.grains.k-state.edu/igp/wheatflourbook/wheat-flour-book.pdf> [10.6.2018.]

Web 1: <http://foodb.ca/reports/wheat> [5.7.2018.]

Web 2: <https://www.brabender.com/en/food/products/> [10.6.2018.]

Web 3: http://studenti.ptfos.hr/Diplomski_studij/Prehrambeno_inzenjerstvo/Nastavni%20materijali [5.7.2018.]

Web 4: <http://www.chopin.fr/media/produits/pdf/alveoconsistographe-gb.pdf> [5.7.2018.]

Web 5: <http://chopin.fr/en/produits/102-alveolab.html> [5.7.2018.]

Žeželj, M.: Tehnologija žita i brašna. NIP Glas javnosti doo, Beograd, 2005.